



TUGAS AKHIR - RE141581

**PENGARUH AKTIVASI DAN DOSIS ADSORBEN
SEKAM PADI UNTUK MENGURANGI
KONSENTRASI *METHYLENE BLUE* PADA LIMBAH
CAIR INDUSTRI TEKSTIL**

**GIA YULANDANI TRIANA
NRP 3311 100 055**

**DOSEN PEMBIMBING
I.D.A.A Warmadwanthi, ST., MT., Ph.D**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - RE141581

EFFECT OF ACTIVATION AND DOSAGE OF RICE HUSK ADSORBENT FOR METHYLENE BLUE FROM TEXTILE INDUSTRY MANUFACTURING

**GIA YULANDANI TRIANA
NRP 3311 100 055**

**SUPERVISOR
I.D.A.A Warmadwanthi, ST., MT., Ph.D**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH AKTIVASI DAN DOSIS ADSORBEN SEKAM PADI UNTUK MENGURANGI KONSENTRASI METHYLENE BLUE PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI TEKSTIL

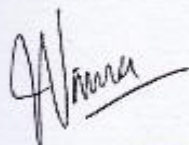
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

GIA YULANDANI TRIANA
NRP. 3311 100 055

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



I.D.A.A. Warmadewanthi, ST., MT., Ph.D
NIP. 19750212-199903 2 001



Pengaruh Aktivasi dan Dosis Adsorben Sekam Padi untuk Mengurangi Konsentrasi *Methylene Blue* pada Limbah Cair Industri Tekstil

Nama Mahasiswa : Gia Yulandani Triana
NRP : 3311 100 055
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : I.D.A.A. Warmadewanthi, ST., MT., Ph.D.

ABSTRAK

Limbah tekstil menghasilkan limbah pewarna yang bersifat toksik, karsinogenik, dan berbahaya apabila langsung dibuang ke badan air. Pewarna yang biasanya terkandung dalam limbah merupakan pewarna sintetis. Salah satu pewarna sintetis yang banyak digunakan adalah *Methylene Blue*. Salah satu pengolahannya adalah proses adsorpsi. Adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan sekam padi. Namun, karena daya adsorpsi sekam padi relatif rendah maka diperlukan proses aktivasi. Aktivasi dapat dilakukan dengan cara pembakaran (aktivasi fisika), perendaman dalam bahan kimia (aktivasi kimia), dan perendaman-pembakaran (aktivasi kimia-fisika). Selain aktivasi, dosis adsorben menjadi hal yang perlu diperhatikan dalam proses adsorpsi. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan cara aktivasi dan dosis optimum serta menganalisa isoterm adsorpsi pada proses adsorpsi *Methylene Blue* menggunakan sekam padi.

Penelitian ini menggunakan sampel air limbah buatan dan limbah cair industri tekstil. Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah cara aktivasi, dosis adsorben, dan waktu kontak. Parameter pada penelitian ini yaitu konsentrasi *Methylene Blue*, pH dan isoterm adsorpsi.

Pada penelitian ini, diperoleh aktivasi optimum adalah aktivasi fisika dengan dosis optimum 12 g/L pada waktu kontak 10 menit, persentase removal pada kondisi ini mencapai 91,1% (limbah artifisial) dan 59,8% (limbah asli). Isoterm yang sesuai adalah Isoterm Freundlich, sedangkan kinetika yang sesuai adalah kinetika orde dua semu.

Kata kunci: adsorpsi, aktivasi, konsentrasi, *Methylene Blue*, sekam padi

Halaman ini sengaja dikosongkan

Effect of Activation and Dosage of Rice Husk Adsorbent for Methylene Blue from Textile Industry Manufacturing

Name of Student : Gia Yulandani Triana
NRP : 3311 100 055
Study Programme : Environmental Engineering
Supervisor : I.D.A.A. Warmadewanthi, ST., MT., Ph.D.

ABSTRACT

Textile industry manufacturing produce dyes that are toxic, carcinogenic, and dangerous if directly discharged into water bodies. Dyes contained in the wastewater is synthetic dyes. One of the widely used synthetic dyes are Methylene Blue. One of the treatment is adsorption process. Adsorption can be done by using rice husk. However, due to the adsorption of rice husk power is relatively low, activation process is required. Activation can be done by burning, soaking in chemicals, and combustion-immersion. Besides activation, adsorbent dosage was one of important things in adsorption process. The aim of this study was to determine optimum activation and dosage, and analyze adsorption isotherm of Methylene Blue adsorption process using rice husk.

This study used an artificial waste water and textiles industrial wastewater. Variations used in this study were adsorbent activation, adsorbent dosage, and contact time. Parameters in this study were the concentration of methylene blue, pH and adsorption isotherm.

In this study, the optimum activation obtained by the physics activation with optimum doses of 12 g / L at 10 minutes contact time, the percentage of removal under these conditions reached 91,1% for artificial sample and 59,8% for textile wastewater. Corresponding isotherms was Freundlich isotherm, whereas the corresponding kinetics was pseudo-second-order kinetic model.

Keyword(s): activation, adsorption, concentration, Methylene Blue, rice husk

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas ke hadirat Allah SWT yang telah memberi ilmu, perlindungan, bimbingan, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Aktivasi dan Dosis Adsorben Sekam Padi untuk Mengurangi Konsentrasi *Methylene Blue* pada Limbah Cair Industri Tekstil”** dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih pada semua pihak yang telah membantu kelancaran pembuatan laporan tugas akhir ini, yakni:

1. IDAA Warmadewanthi, ST., M.T., PhD selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bantuan, motivasi, waktu dan ilmu yang diberikan selama proses bimbingan.
2. Ir. Ellina Sitepu Pandebesie, M.T., selaku dosen penguji tugas akhir atas saran dan arahnya untuk perbaikan tugas akhir ini.
3. Susi Agustina Wilujeng, S.T., M.T., selaku dosen penguji tugas akhir atas bantuannya dalam membimbing dan mengarahkan tugas akhir ini sehingga menjadi lebih baik.
4. Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., Ph.D selaku dosen penguji tugas akhir atas saran dan arahan yang telah diberikan untuk perbaikan tugas akhir ini
5. Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc., selaku dosen wali atas bantuan, nasihat dan bimbingannya selama ini.
6. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE., M.Sc., PhD., selaku Kepala Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
7. Kedua orang tua, kakak-kakak, dan adik penulis atas segala pengertian, kesabaran, dukungan, dan doanya.
8. Teman-teman TL 2011 dan teman-teman lainnya yang telah memberikan bantuan dan semangat.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan oleh penulis. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah Industri Tekstil.....	5
2.2 Karakteristik <i>Methylene Blue</i>	6
2.3 Proses Adsorpsi.....	6
2.4 Isoterm Adsorpsi	11
2.5 Kinetika Adsorpsi	14
2.6 Aktivasi Adsorben	15
2.7 Pemanfaatan Sekam Padi untuk Adsorpsi	17
BAB 3 METODE PENELITIAN	23
3.1 Kerangka Penelitian.....	23
3.2 Tahapan Penelitian	26
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Pengaruh Waktu Kontak.....	31
4.2 Pengaruh Dosis	39
4.3 Isoterm Adsorpsi	41
4.4 Kinetika Adsorpsi	48
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sumber dan Jenis Kontaminan Limbah Cair Industri Tekstil	5
Tabel 2.2	Kelebihan dan Kekurangan Metode Aktivasi Karbon Aktif.....	16
Tabel 2.3	Agan Aktivasi Karbon Aktif dalam Penghilangan <i>Methylene Blue</i>	17
Tabel 4.1	Konsentrasi <i>Methylene Blue</i> (MB) dan Persen Removal <i>Methylene Blue</i> (MB) menggunakan Berbagai Dosis Adsorben Sekam Padi	31
Tabel 4.2	Persen Removal dan Konsentrasi <i>Methylene Blue</i> (MB) Setelah Adsorpsi pada Waktu Kontak 10 menit	39
Tabel 4.3	Perhitungan Isoterm Adsorpsi Adsorben Sekam Padi Pada Waktu Kontak 10 menit, Konsentrasi Awal MB 29,706 mg/L (Aktivasi Fisika), 28,768 mg/L (Aktivasi Kimia), dan 29,393 mg/L (Aktivasi Kimia-Fisika); Volume Adsorbat 100 mL.....	42
Tabel 4.4	Konstanta Isoterm Adsorpsi Freundlich dan Langmuir untuk Setiap Aktivasi Adsorben.....	46
Tabel 4.5	Nilai q_e Pada Waktu Kontak Optimum (Isoterm Freundlich).....	47
Tabel 4.6	Nilai q_e Pada Waktu Kontak Optimum (Isoterm Langmuir).....	47
Tabel 4.7	Nilai q_{max} dengan Perhitungan Isoterm Freundlich	48
Tabel 4.8	Perhitungan Kinetika Adsorben Sekam Padi pada Dosis 12 g/L dengan Konsentrasi MB 29,706 mg/L (Aktivasi Fisika), 28,768 mg/L (Aktivasi Kimia), dan 29,393 mg/L (Aktivasi Kimia-Fisika); Volume Adsorbat 100 mL.....	49
Tabel 4.9	Konstanta Kinetika Adsorpsi Pada Dosis Optimum	53

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur <i>Methylene Blue</i>	6
Gambar 2.2 Mekanisme Adsorpsi Pada Padatan.....	8
Gambar 2.3 Mekanisme Adsorpsi <i>Multilayer</i>	12
Gambar 2.4 Mekanisme Adsorpsi <i>Monolayer</i>	14
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	25
Gambar 4.1 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> menggunakan Adsorben Sekam Padi (dosis 4 g/L)	34
Gambar 4.2 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> menggunakan Adsorben Sekam Padi (dosis 8 g/L)	35
Gambar 4.3 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> menggunakan Adsorben Sekam Padi (dosis 12 g/L)	36
Gambar 4.4 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> menggunakan Adsorben Sekam Padi (dosis 16 g/L)	37
Gambar 4.5 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> menggunakan Adsorben Sekam Padi (dosis 20 g/L)	38
Gambar 4.6 Pengaruh Dosis Terhadap Adsorpsi <i>Methylene Blue</i> dengan Adsorben Sekam Padi Pada Waktu Kontak 10 menit	40
Gambar 4.7 Isoterm Freundlich Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia Pada Waktu Kontak 10 Menit dengan Konsentrasi Awal MB 28,768 mg/L.....	43
Gambar 4.8 Isoterm Langmuir Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia Pada Waktu Kontak 10 Menit dengan Konsentrasi Awal MB 28,768 mg/L.....	43
Gambar 4.9 Isoterm Freundlich Adsorben Sekam Padi Aktivasi Fisika Pada Waktu Kontak 10 Menit dengan Konsentrasi Awal MB 29,706 mg/L.....	44
Gambar 4.10 Isoterm Langmuir Adsorben Sekam Padi Aktivasi Fisika Pada Waktu Kontak 10 Menit dengan Konsentrasi Awal MB 29,706 mg/L	44

Gambar 4.11	Isoterm Freundlich Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia-Fisika Pada Waktu Kontak 10 Menit dengan Konsentrasi Awal MB 29,393 mg/L	45
Gambar 4.12	Isoterm Langmuir Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia-Fisika Pada Waktu Kontak 10 Menit dengan Konsentrasi Awal MB 29,393 mg/L	45
Gambar 4.13	Kinetika Orde Satu Semu Adsorben Sekam Padi Aktivasi Fisika dengan dosis 12 g/L; Konsentrasi Awal MB 29,706 mg/L	50
Gambar 4.14	Kinetika Orde Dua Semu Adsorben Sekam Padi Aktivasi Fisika dengan dosis 12 g/L; Konsentrasi Awal MB 29,706 mg/L	51
Gambar 4.15	Kinetika Orde Satu Semu Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia dengan dosis 12 g/L; Konsentrasi Awal MB 28,768 mg/L	51
Gambar 4.16	Kinetika Orde Dua Semu Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia dengan dosis 12 g/L; Konsentrasi Awal MB 28,768 mg/L	52
Gambar 4.17	Kinetika Orde Satu Semu Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia-Fisika dengan dosis 12 g/L; Konsentrasi Awal MB 29,393 mg/L	52
Gambar 4.18	Kinetika Orde Dua Semu Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia-Fisika dengan 12 g/L; Konsentrasi Awal MB 29,393 mg/L	53

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Limbah pewarna banyak dihasilkan oleh berbagai industri seperti tekstil, cat, kertas, dan percetakan. Limbah pewarna ini terutama dihasilkan dari cairan bekas proses pewarnaan dan proses pencelupan (Herlina, 2014). Limbah pewarna ini dapat menimbulkan pencemaran karena memiliki efek toksik dan karsinogenik pada makhluk hidup serta menimbulkan efek negatif terhadap kegiatan fotosintesis tanaman air. Limbah ini berbahaya jika langsung dibuang ke badan air.

Pewarna yang merupakan pencemar biasanya merupakan pewarna sintesis yang memiliki molekul organik kompleks seperti kelompok-kelompok azo, karbonil, metil, nitro, dan quinoid (Karaçetin *et al.*, 2014). Salah satu contoh pewarna sintesis yang sering digunakan adalah *Methylene Blue*. *Methylene Blue* adalah senyawa kimia aromatik heterosiklik dengan rumus molekul $C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$. *Methylene Blue* digunakan pada industri tekstil, percetakan, penyamakan kulit, dan pabrik kertas (Ashiq *et al.*, 2012). Senyawa *Methylene Blue* memiliki berat molekul 373,91 gram/mol, berwarna hijau tua, tidak berbau, dan stabil dalam udara serta mudah larut dalam air, kloroform, dan alkohol (Riapanitra dkk., 2006). *Methylene Blue* bersifat racun, sehingga berbahaya jika tertelan dan dapat menimbulkan beberapa masalah apabila terhirup atau terjadi kontak dengan mata (Sharma *et al.*, 2010).

Berbagai pengolahan limbah secara fisik, kimia, maupun biologi telah dilakukan untuk mengolah *Methylene Blue*. Di antara metode pengolahan ini, pengolahan fisik seperti adsorpsi dianggap sebagai metode yang paling efisien untuk menghilangkan *Methylene Blue*. Sementara itu, pengolahan biologis dianggap tidak efisien karena stabilitas struktural dan ukuran molekul *Methylene Blue* yang besar (Adam *et al.*, 2013). Selain efisien, proses adsorpsi juga menawarkan fleksibilitas dalam desain, operasi, dan dalam banyak kasus akan menghasilkan efluen dengan kualitas yang baik (Fu dan Wang, 2010). Adsorpsi pada umumnya dilakukan dengan menggunakan karbon aktif, baik yang berbentuk butiran atau bubuk. Namun, harga karbon aktif yang

dijual relatif mahal. Hal ini menyebabkan adanya penelitian mengenai adsorben yang murah dan mudah didapatkan, salah satunya adalah dengan menggunakan sekam padi.

Sekam padi dapat digunakan sebagai adsorben karena selain merupakan material berpori, sekam padi juga mempunyai gugus aktif yaitu Si-O-Si dan Si-OH (Riapanitra dkk., 2006). Menurut Sharma *et al.* (2010) diperlukan 750 mg sekam padi untuk menyerap hampir 100% zat warna pada 25 mL larutan *Methylene Blue* dengan konsentrasi 500 mg/L pada limbah sintesis. Lesmana *et al.* (2009) menyatakan bahwa sekam padi memiliki kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 0,0667 mmol/g untuk menyerap Pb (II) dan 0,2175 mmol/g untuk menyerap Cu (II) pada limbah sintesis. Menurut Rafatullah *et al.* (2010) sekam padi memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 40,49 mg/g untuk menyerap *Methylene Blue* pada limbah sintesis.

Masalah pada penggunaan sekam padi sebagai adsorben umumnya dikarenakan sekam padi memiliki daya adsorpsi yang rendah, sehingga dibutuhkan aktivasi untuk menaikkan daya adsorpsinya. Aktivasi ini bertujuan untuk memperbesar luas permukaan dengan membuka pori-pori sekam padi. Aktivasi yang biasa digunakan untuk menghilangkan pewarna adalah aktivasi dengan pembakaran. Sharma *et al.* (2010) menyatakan bahwa diperlukan sebanyak 500 mg sekam padi yang diaktivasi dengan pembakaran dalam menyerap hampir 100% zat warna pada 25 mL larutan *Methylene Blue* dengan konsentrasi 1000 mg/L. Kekurangan aktivasi dengan pembakaran adalah sekam padi akan kehilangan sekitar 12,2% dari massanya saat proses pembakaran, sehingga jumlah sekam padi yang dibutuhkan lebih banyak. Selain dengan pembakaran, aktivasi sekam padi dapat dilakukan dengan perendaman menggunakan bahan kimia. Menurut Bansal *et al.* (2009) sekam padi yang telah diaktivasi menggunakan formaldehid dapat menyerap ion Cr (VI) sebanyak 76%. Kekurangan aktivasi ini adalah penggunaan bahan kimia yang harganya cukup mahal. Banyak penelitian telah dilakukan dengan menggunakan cara aktivasi ini, tapi masih sedikit penelitian yang membandingkan efektivitas keduanya dalam kondisi adsorbat yang sama. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk membandingkan efektivitas kedua aktivasi ini pada kondisi adsorbat dengan perlakuan yang sama.

Selain aktivasi, proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti dosis adsorben, waktu kontak, temperatur, dan pH (Santos dan Boaventura, 2008). Secara umum, apabila dosis adsorben, waktu kontak, dan temperatur meningkat, maka persen *removal* proses adsorpsi akan meningkat. Namun, hal ini tidak berlaku pada pH, karena pH memiliki rentang tertentu untuk memperoleh persen *removal* adsorpsi yang optimum. Yagub *et al.* (2014) menyatakan bahwa rentang pH optimum untuk mengurangi *Methylene Blue* menggunakan karbon aktif adalah 2-11, sedangkan untuk mengurangi *Acid Yellow 36* rentangnya adalah 2-9. Menurut Sharma *et al.* (2010), pH optimum untuk penyerapan *Methylene Blue* menggunakan adsorben sekam padi adalah 7. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui aktivasi yang paling efektif, dosis optimum, dan pH optimum untuk mengurangi kadar *Methylene Blue* pada air limbah.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana cara aktivasi adsorben yang efektif untuk mengurangi kadar *Methylene Blue* dalam air limbah?
2. Berapakah dosis adsorben untuk mengurangi kadar *Methylene Blue* dalam air limbah?
3. Bagaimanakah isoterm adsorpsi pada proses adsorpsi *Methylene Blue* menggunakan adsorben sekam padi?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Menentukan cara aktivasi adsorben yang efektif untuk mengurangi kadar *Methylene Blue* dalam air limbah
2. Menentukan dosis adsorben untuk mengurangi kadar *Methylene Blue* dalam air limbah
3. Menganalisa isoterm adsorpsi yang terjadi pada proses adsorpsi *Methylene Blue* menggunakan adsorben sekam padi

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan alternatif pengolahan limbah yang mengandung *Methylene Blue* dengan bahan yang murah dan mudah didapat. Selain itu, penelitian ini memberikan informasi

ilmiah mengenai penggunaan sekam padi untuk mengurangi konsentrasi *Methylene Blue* pada limbah.

1.5. Ruang Lingkup

1. Sampel yang akan digunakan adalah air limbah buatan dan limbah cair industri tekstil
2. Reaktor dioperasikan dengan sistem *batch*
3. Penelitian akan dilaksanakan pada Bulan Maret-Mei 2015
4. Parameter yang diukur : konsentrasi *Methylene Blue* dalam limbah, pH, dan isoterm adsorpsi
5. Variabel yang akan digunakan :
 - Variasi dosis adsorben yang akan digunakan
 - Variasi waktu kontak
 - Variasi aktivasi yang akan digunakan yaitu aktivasi dengan pembakaran, perendaman dalam bahan kimia, dan pembakaran-perendaman dalam bahan kimia

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Industri Tekstil

Industri tekstil termasuk salah satu industri yang menggunakan air dalam jumlah yang sangat banyak dalam proses produksinya. Teknologi proses produksi dalam industri tekstil pada umumnya dapat dilakukan secara proses kering atau proses basah. Proses kering dilakukan dalam industri tekstil tidak memerlukan air sebagai medium proses, tetapi hanya digunakan sebagai bahan pembantu saja. Proses kering tekstil meliputi proses pembuatan benang (pemintalan), pembuatan kain (pertenunan), perajutan dan pembuatan kain jadi (*garment*). Proses basah dilakukan pada industri tekstil yang menggunakan air sebagai medium proses, sehingga proses tidak dapat berlangsung tanpa adanya air sebagai bahan penolong utama. Proses basah dan proses penyempurnaan paling banyak menimbulkan pencemaran lingkungan yang meliputi proses pemutihan, proses penghilangan kanji, pemasakan, penggelantangan, mercerisasi, pencelupan, pencapan, pencucian, penyempurnaan akhir, dan lain-lain (Moertinah, 2008).

Limbah cair industri tekstil berasal dari bahan-bahan yang digunakan pada proses produksi, terutama pada proses pengkanjian, pewarnaan, dan *printing* atau pemberian motif (Junaidi dan Hatmanto, 2006). Sumber limbah cair pada industri tekstil dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sumber dan Jenis Kontaminan Limbah Cair Industri Tekstil

No	Proses Produksi	Jenis Kontaminan
1	Pengkanjian	Larutan kanji
2	Pewarnaan/Pemutihan	Pewarna/Pemutih
3	Printing	Pewarna

Sumber: Junaidi dan Hatmanto, 2006

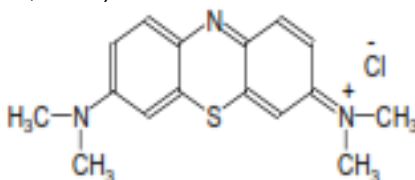
Limbah industri tekstil yang berasal dari proses pewarnaan merupakan senyawa kimia sintetis, mempunyai kekuatan pencemar yang kuat. Bahan pewarna tersebut telah terbukti mencemari lingkungan karena sifat toksiknya (Habibi, 2012). Bahan pewarna yang biasanya digunakan merupakan bahan

pewarna organik rantai panjang seperti senyawa azo, antraquinon, dan ftalosianin, dimana pewarna ini relatif sukar diolah dengan proses biologis (Nugroho dan Iqbal, 2005).

2.2. Karakteristik *Methylene Blue*

Zat warna *Methylene Blue* digunakan secara luas pada industri tekstil dan menjadi perhatian dalam proses pengolahan limbah karena warnanya yang sulit diuraikan. Senyawa ini bersifat toksik, menyebabkan mutasi genetik, dan berpengaruh pada reproduksi. Senyawa ini memiliki berat molekul 373,91 gram/mol, berwarna hijau tua, tidak berbau, serta mudah larut dalam air, kloroform, dan alkohol (Riapanitra dkk., 2006).

Methylene Blue adalah senyawa kimia aromatik heterosiklik dengan rumus molekul $C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$ (Gambar 2.1). *Methylene Blue* bersifat racun, sehingga berbahaya jika tertelan dan dapat menimbulkan beberapa masalah apabila terhirup atau terjadi kontak dengan mata (Sharma *et al.*, 2010). Proses pembuatan *Methylene Blue* dilakukan melalui oksidasi dari p-aminodimetilanilin dengan $FeCl_3$ dalam asam sulfat. Kegunaan *Methylene Blue* adalah sebagai pewarna katun dan wol dan indikator pada titrasi oksidasi reduksi dalam analisis volumetrik (Efendi dan Sutanto, 2104).



Gambar 2.1 Struktur *Methylene Blue* (Iqbal dan Ashiq, 2007)

2.3. Proses Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses mengumpulkan zat yang ada dalam larutan pada *interface* yang sesuai. Adsorpsi adalah operasi perpindahan massa dalam konstituen fase cair ditransfer ke fase padat. Adsorbat adalah substansi yang dihilangkan dari fase cair pada *interface*. Adsorben adalah bahan padat, cair, atau gas dimana adsorbat diakumulasi. Proses adsorpsi belum digunakan secara luas dalam pengolahan air limbah, tetapi apabila diinginkan kualitas limbah yang lebih baik, termasuk pengurangan

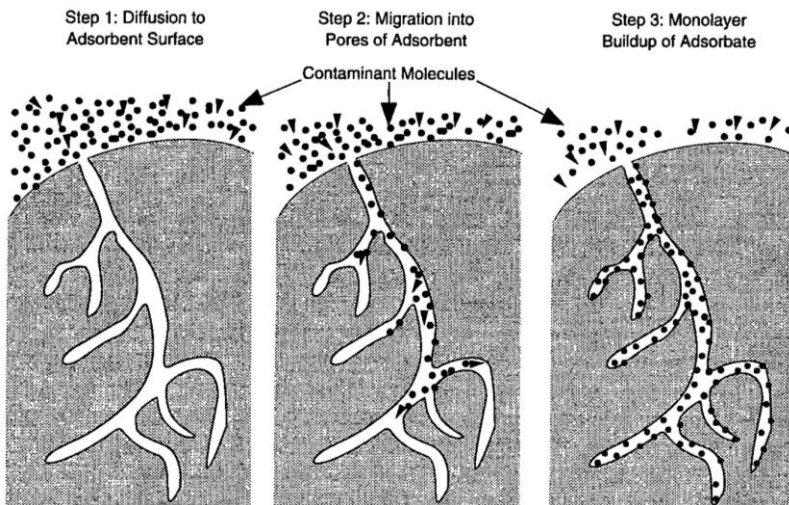
toksisitas, menyebabkan digunakannya proses adsorpsi dengan karbon aktif (Metcalf dan Eddy, 2004). Adsorpsi adalah proses perpindahan massa pada permukaan pori-pori dalam butiran adsorben. Perpindahan massa yang terjadi melalui batas antara dua fasa yaitu: gas-padat, cair-padat (Asip dkk., 2008). Transfer massa dari cairan ke dalam pori-pori adsorben akan mengalami proses-proses sebagai berikut: (a) perpindahan massa dari cairan ke permukaan adsorben, (b) difusi dari permukaan adsorben ke dalam adsorben melalui pori, (c) perpindahan massa dari cairan dalam pori ke dinding pori, dan (d) adsorpsi pada dinding pori (Kwartiningsih dan Setiarini, 2005).

Secara umum dikenal ada dua jenis adsorpsi, yaitu adsorpsi fisik atau adsorpsi Van der Waals dan adsorpsi kimia atau adsorpsi teraktivasi. Adsorpsi fisik adalah adsorpsi yang disebabkan oleh interaksi antara adsorben dan adsorbat pada permukaan karena adanya gaya tarik Van der Waals atau ikatan hidrogen, adsorpsi fisik ini biasanya reversible (dapat balik) karena dapat dilepas kembali dengan adanya penurunan konsentrasi larutan. Adsorbat tidak terikat secara kuat pada bagian adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari bagian permukaan ke bagian lain dan dapat diganti oleh adsorbat lain. Adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang melibatkan ikatan valensi sebagai hasil pemakaian bersama elektron oleh adsorbat dan adsorben. Adsorpsi kimia berkaitan dengan pembentukan senyawa kimia yang melibatkan adsorben pada permukaan zat yang diserap. Adsorbat yang teradsorpsi oleh proses kimia umumnya sangat sulit untuk diregenerasi (Trisnawati, 2008).

Mekanisme adsorpsi dapat diuraikan menjadi tiga tahapan yaitu:

1. Fase *bulk* transfer yaitu perpindahan molekul yang akan diadsorp menuju ke permukaan partikel adsorben. Setelah itu akan terjadi film difusi yaitu difusi adsorbat melalui suatu lapisan film yang akan mengelilingi partikel adsorben.
2. Difusi pori yaitu molekul adsorbat dipindahkan dari permukaan partikel adsorben menuju ke dalam pori adsorben.
3. Partikel menempel pada permukaan adsorben.

Mekanisme adsorpsi dapat ditunjukkan melalui Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Mekanisme Adsorpsi pada Padatan (Ergenekon, 2010)

Adsorpsi, dengan pemilihan adsorben yang cocok, dapat menjadi teknik yang efektif untuk menghilangkan pewarna dari air limbah. Beberapa adsorben yang disarankan adalah gambut lumut, *fly ash*, karbon aktif, zeolit, kitosan, lignin, tanah liat, biomassa, Xanthate, dan bahan kaktus. Tidak semua adsorben ekonomis untuk digunakan dalam pengolahan air limbah karena beberapa adsorben mahal dan sulit dipisahkan dari air limbah, meskipun kapasitas pengolahannya cukup tinggi (Rafatullah *et al.*, 2009).

Asip dkk. (2008) menyatakan bahwa ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi, yaitu:

1) Proses pengadukan

Kecepatan adsorpsi selain dipengaruhi oleh *film diffusion* dan *pore diffusion* juga dipengaruhi oleh pengadukan. Jika proses pengadukan relatif lambat maka adsorben sukar menembus lapisan film antara permukaan adsorben dan *film diffusion* yang merupakan faktor pembatas yang memperkecil kecepatan penyerapan. Ashrafi *et al.* (2014) menyatakan untuk mengurangi *Methylene Blue* dan pewarna *Red 81* dilakukan pengadukan dengan kecepatan 150 rpm selama 3 jam.

2) Karakteristik adsorben

Adsorpsi dipengaruhi oleh dua sifat permukaan yaitu energi permukaan dan gaya tarik permukaan. Oleh karena itu sifat fisik yaitu ukuran partikel dan luas permukaan merupakan sifat yang terpenting dari bahan yang akan digunakan sebagai adsorben.

3) Kelarutan adsorben

Proses adsorpsi terjadi pada molekul-molekul yang ada dalam larutan harus dapat berpisah dari cairannya dan dapat berikatan dengan permukaan adsorben. Sifat unsur yang terlarut mempunyai gaya tarik-menarik terhadap cairannya yang lebih kuat bila dibandingkan dengan unsur yang sukar larut. Hal ini lah yang menyebabkan unsur yang terlarut akan lebih sulit terserap pada adsorben bila dibandingkan dengan unsur yang tidak larut.

Menurut Santos dan Boaventura (2008), faktor lain yang mempengaruhi proses adsorpsi antara lain:

1) Dosis Adsorben

Dosis adsorben yang semakin tinggi akan meningkatkan persen removal sampai batas tertentu dan setelahnya hampir mendekati konstan. Menurut Shih (2012) dosis adsorben sekam padi teraktivasi menggunakan asam yang dibutuhkan untuk mengurangi *Methylene Blue* pada limbah sintetis adalah 20g/L. Lakshmi *et al.* (2009) menyatakan bahwa dibutuhkan 10 g/L adsorben sekam padi yang diaktivasi dengan pembakaran untuk mengurangi pewarna *Indigo Carmine* pada limbah sintetis. Riapanitra dkk. (2006) menyatakan bahwa dosis adsorben arang sekam padi yang dibutuhkan untuk mengurangi *Methylene Blue* pada limbah sintetis adalah 4 g/L.

2) Konsentrasi Adsorbat

Konsentrasi adsorbat yang digunakan akan sangat mempengaruhi proses adsorpsi yang terjadi, karena semakin tinggi konsentrasi adsorbat maka akan semakin rendah persen removalnya. Menurut Yagub *et al.* (2014) pada adsorpsi *Malachite Green* dengan konsentrasi 10-30 mg/L persen *removal* adsorpsi menggunakan sekam padi adalah 71-82,5%.

3) Waktu Kontak

Pengaruh waktu kontak pada proses adsorpsi memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan dosis adsorben yaitu removal akan meningkat sampai batas tertentu dan setelahnya konstan. Adam *et al.* (2013) menyatakan bahwa waktu kontak optimum untuk menghilangkan 99,4% *Methylene Blue* adalah 15 menit.

4) Temperatur

Temperatur sangat berpengaruh untuk proses adsorpsi, karena temperatur dapat mengubah kapasitas adsorpsi. Apabila dengan peningkatan suhu kapasitas adsorpsi meningkat, maka adsorpsi termasuk proses endotermis. Namun, apabila reaksi yang terjadi termasuk proses eksotermis, maka kapasitas adsorpsi akan berkurang ketika temperatur meningkat (Yagub *et al.*, 2014)

5) pH

Kapasitas adsorpsi dipengaruhi oleh pH pada rentang tertentu. Yagub *et al.* (2014) menyatakan bahwa rentang pH optimum untuk mengurangi *Methylene Blue* menggunakan karbon aktif adalah 2-11, sedangkan untuk mengurangi *Acid Yellow 36* rentangnya adalah 2-9. Sharma *et al.* (2010) menyatakan bahwa pH optimum untuk mengurangi konsentrasi *Methylene Blue* pada limbah sintesis menggunakan adsorben sekam padi adalah 7.

Salah satu cara mengetahui efisiensi proses adsorpsi adalah dengan menghitung persentase adsorpsi. Adapun rumus untuk mengetahui persentase adsorpsi dapat dilihat di bawah ini.

$$P_A = \left[\left(\frac{C_0 - C}{C_0} \right) \times 100\% \right] \quad (2.1)$$

dimana :

P_A : persentase adsorpsi (%)

C_0 : konsentrasi adsorbat pada $t = 0$ (mg/L)

C : konsentrasi adsorbat pada $t = t$ (mg/L) (Ashrafi *et al.*, 2014)

2.4. Isoterm Adsorpsi

Adsorpsi suatu zat pada permukaan adsorben bergantung pada beberapa faktor dan memiliki pola isoterm adsorpsi tertentu. Isoterm adsorpsi menunjukkan hubungan ekuilibrium antara konsentrasi larutan dan jumlah adsorbat yang diserap pada suhu konstan. Terdapat tiga pola isoterm adsorpsi, yaitu isoterm adsorpsi Freundlich, Langmuir, dan BET (Brunauer, Emmet dan Teller). Adsorpsi molekul atau ion pada permukaan padatan umumnya terbatas pada lapisan satu molekul (*monolayer*). Oleh karena itu, proses adsorpsi biasanya mengikuti persamaan adsorpsi Freundlich dan/atau Langmuir (Suardana, 2008).

1. Isoterm Freundlich

Isoterm Freundlich adalah sebuah fungsi empirik yang menyatakan kesetimbangan adsorpsi dengan konsentrasi adsorbat yang tidak terbatas. Fungsi ini banyak digunakan untuk proses adsorpsi dalam air minum dan air limbah (Metcalf dan Eddy, 2002).

Model Isoterm Freundlich menggunakan asumsi bahwa adsorpsi terjadi secara fisika. Isoterm Freundlich merupakan persamaan empiris yang paling banyak digunakan untuk mendeskripsikan kesetimbangan adsorpsi. Isoterm Freundlich mampu menggambarkan adsorpsi senyawa organik dan anorganik pada rentang yang lebar untuk berbagai adsorben termasuk biosorben. Persamaan isoterm ini memiliki rumus:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2.2)$$

Persamaan 1 ini dapat dituliskan juga dalam persamaan logaritmik linier, yaitu:

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.3)$$

dimana:

C_e : konsentrasi adsorbat pada waktu ekuilibrium (mol/L)

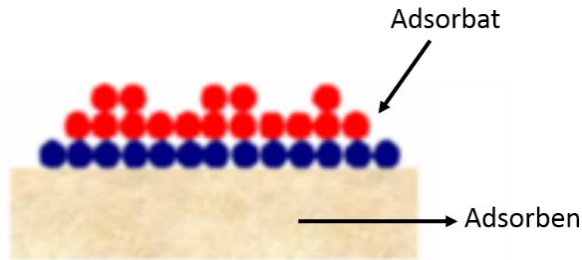
q_e : jumlah adsorbat yang diserap setiap gram adsorben (mg/g)

K_F : konstanta Freundlich (Ahmad *et al.*, 2009)
 n : homogenitas permukaan (Sharma *et al.*, 2010)

$$K_f = \frac{Q_{max}}{C_i^{1/n}} \quad (2.4)$$

dimana:

Q_{max} : kapasitas adsorpsi maksimum Freundlich (mg/g)
 C_i : konsentrasi awal adsorbat (mg/L) (Shih, 2012)



Gambar 2.3 Mekanisme Adsorpsi Multilayer (Lyubchik *et al.*, 2011)

2. Isoterm Langmuir

Isoterm adsorpsi Langmuir dikembangkan dengan asumsi tempat yang dapat diserap pada permukaan adsorben bersifat homogen dan adsorpsi bersifat reversibel. Kesetimbangan tercapai ketika kecepatan adsorpsi molekul ke permukaan adsorben sama dengan kecepatan desorpsi molekul dari permukaan adsorben. Persamaan Langmuir berkaitan dengan cakupan molekul pada permukaan padat untuk konsentrasi dari media di atas permukaan padat pada suhu tetap (Febrianto *et al.*, 2009). Persamaan Langmuir dapat dituliskan dengan rumus:

$$\frac{C_e}{q_e} = \left(\frac{C_e}{q_m} \right) + \left(\frac{1}{b \times q_m} \right) \quad (2.5)$$

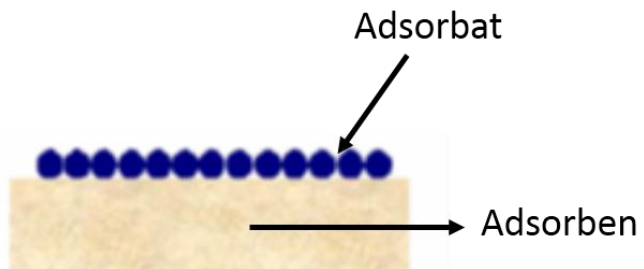
dimana:

C_e : konsentrasi adsorbat pada waktu ekuilibrium (mol/L)

- q_e : jumlah adsorbat yang diserap setiap gram adsorben (mg/g)
- b : konstanta Langmuir (L/mg), berkaitan dengan energi pada adsorpsi dan gaya ikat antara adsorben dan adsorbat
- q_m : jumlah adsorbat maksimum yang dapat diserap setiap gram adsorben (mg/g) (Chowdhury *et al.*, 2011)

Model Isoterm Langmuir menggunakan pendekatan kinetika, yaitu kesetimbangan terjadi apabila kecepatan adsorpsi sama dengan kecepatan desorpsi. Asumsi yang digunakan pada persamaan Langmuir adalah :

- ∞ Adsorpsi terjadi secara kimia.
- ∞ Adsorben merupakan sistem dengan tingkat energi homogen, sehingga afinitas molekul terserap sama untuk tiap lokasi.
- ∞ Adsorbat yang terserap membentuk lapisan tunggal (*monolayer*).
- ∞ Tidak ada interaksi antar molekul yang terserap.
- ∞ Molekul yang terjerap pada permukaan adsorben tidak berpindah-pindah.



Gambar 2.4 Mekanisme Adsorpsi Monolayer (Lyubchik *et al.*, 2011)

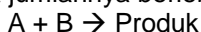
2.5. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi menggambarkan tingkat penyerapan zat terlarut/adsorbat (reaksi kimia), yang akan menentukan waktu

tinggal proses adsorpsi. Model kinetika adsorpsi telah banyak digunakan dalam literatur, yaitu kinetika orde satu semu (model Lagergren) dan kinetika orde dua semu (model Ho dan McKay) (Foo dan Hameed, 2012).

1. Kinetika Orde Satu Semu

Kinetika orde satu semu pada dasarnya merupakan kinetika orde dua. Namun, pada reaksi orde satu semu, salah satu reaktan pada orde dua jumlahnya berlebih, misalnya:



Reaksi di atas merupakan reaksi orde dua. Namun, apabila jumlah reaktan B jumlahnya jauh lebih besar dibandingkan dengan reaktan A, maka reaktan B nilainya dianggap konstan sepanjang waktu reaksi. Oleh karena itu, reaksi ini menjadi orde satu semu, bukan lagi orde dua.

Kinetika orde satu semu atau model Lagergren merupakan kinetika adsorpsi yang paling sering digunakan. Adapun persamaan kinetika orde satu semu dapat dilihat di bawah ini.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (2.6)$$

(Shih, 2012)

Persamaan 2.5 di atas dapat diubah ke dalam bentuk linier seperti persamaan di bawah ini.

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t \quad (2.7)$$

(Chowdhury *et al.*, 2011)

dimana:

q_t : jumlah adsorbat terserap pada waktu t (mg/g)

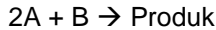
k_1 : konstanta kinetika orde satu semu (/menit)

q_e : kapasitas adsorpsi ekuilibrium (mg/g)

Kinetika orde satu semu terbukti efektif dalam mewakili data kinetika hasil eksperimental. Namun, banyak kasus persamaan kinetika ini tidak cocok dengan seluruh variasi waktu kontak dan umumnya berlaku selama tahap awal dari proses adsorpsi. Pada beberapa kasus, model Lagergren sangat cocok dengan data kinetik eksperimental. Namun, model ini gagal untuk memprediksi jumlah pewarna yang diserap secara teoritis, sehingga menyimpang dari teori tersebut.

2. Kinetika Orde Dua Semu

Kinetika orde dua semu pada dasarnya merupakan kinetika orde tiga sesuai reaksi:



Namun, apabila jumlah reaktan B jauh lebih besar dibandingkan reaktan A, maka reaksi ini disebut orde dua semu. Hal ini dikarenakan nilai B selama reaksi berlangsung dianggap konstan.

Keuntungan model ini adalah dapat dihitungnya kapasitas adsorpsi, konstanta kinetika orde dua semu, kecepatan awal adsorpsi berdasarkan perhitungan, tanpa mengetahui parameter terlebih dahulu. Adapun persamaan kinetika orde dua semu dapat dilihat di bawah ini.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (2.8)$$

(Shih, 2012)

Persamaan 2.7 di atas dapat diubah ke dalam bentuk linier seperti persamaan di bawah ini.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2.9)$$

(Chowdhury *et al.*, 2011)

$$k_2 q_e^2 = h$$

dimana:

$k_2 q_e^2 = h$, dapat dianggap sebagai laju awal adsorpsi pada saat t mendekati 0 (nol). Plot antara t/q_t terhadap t memberikan sebuah garis lurus yang dapat digunakan untuk menentukan q_e dan k_2 .

k_2 : konstanta kinetika orde dua semu (g/mg.menit)

2.6. Aktivasi Adsorben

Bahan adsorben biasanya memiliki daya adsorpsi yang rendah, sehingga dibutuhkan aktivasi untuk menaikkan daya adsorpsinya. Aktivasi ini bertujuan untuk memperbesar luas permukaan arang dengan membuka pori-porinya. Aktivasi dapat dilakukan dengan cara pembakaran dan perendaman dengan bahan kimia (Wahjuni dan Kostradiyanti, 2008). Metode aktivasi yang umum digunakan dalam pembuatan arang aktif adalah:

- a. Aktivasi kimia: proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia. Aktivator yang digunakan adalah bahan-bahan kimia seperti: hidroksida logam alkali, garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah dan khususnya ZnCl_2 , asam-asam anorganik seperti H_2SO_4 dan H_3PO_4
- b. Aktivasi Fisika: proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO_2 . Hal ini biasanya dilakukan dengan memanaskan arang di dalam furnace pada temperatur 800-900°C (Sembiring dan Sinaga, 2003).

Menurut Foo dan Hameed (2010), terdapat kelebihan dan kekurangan pada masing-masing cara aktivasi adsorben. Adapun kelebihan dan kekurangan setiap cara aktivasi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kelebihan dan Kekurangan Metode Aktivasi Karbon Aktif

Aktivasi	Perlakuan	Kelebihan	Kekurangan
Aktivasi kimia	Penambahan asam	Meningkatkan gugus fungsional asam pada permukaan karbon aktif.	1. Dapat mengurangi luas permukaan BET dan volume pori. 2. Dapat menghasilkan gas SO_2 (aktivasi dengan H_2SO_4) atau NO_3 (aktivasi dengan HNO_3)
	Penambahan Basa	Meningkatkan penyerapan polutan organik	Dalam beberapa kasus dapat mengurangi penyerapan ion logam
Aktivasi Fisika	Pembakaran	Dapat meningkatkan luas permukaan	Mengurangi gugus fungsional oksigen pada

Aktivasi	Perlakuan	Kelebihan	Kekurangan
		BET dan volume pori	permukaan karbon aktif

Sumber: Foo dan Hameed, 2010

Proses aktivasi, baik fisika maupun kimia memerlukan agen aktivasi. Agen aktivasi merupakan media yang digunakan dalam aktivasi adsorben, sehingga kapasitas adsorpsi adsorben teraktivasi meningkat. Agen aktivasi dapat berupa uap atau pembakaran (aktivasi fisika) ataupun bahan kimia (aktivasi kimia). Agen aktivasi kimia sendiri dapat berupa larutan basa ataupun asam, dengan kapasitas berbeda. Semakin tinggi nilai kapasitas adsorpsi dengan menggunakan suatu agen aktivasi, menandakan semakin baik agen aktivasi tersebut. Adapun agen aktivasi yang digunakan dan kapasitas adsorpsi untuk mengaktivasi karbon aktif dalam penghilangan *Methylene Blue* dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Agen Aktivasi Karbon Aktif dalam Penghilangan *Methylene Blue*

Agen Aktivasi	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
Uap (pembakaran)	588,00
HCl	303,03
	238,50
	412,00
H ₃ PO ₄	388,50
	355,72
HNO ₃	450,50
	289,26
KOH	243,90
	241,00
NaOH	1165

Sumber: Foo dan Hameed, 2010

2.7. Pemanfaatan Sekam Padi untuk Adsorpsi

Adsorben dengan prospek yang baik adalah material biologi maupun limbah pertanian seperti alga, limbah tanaman padi, jagung, pisang dan lain-lain. Di antara beberapa limbah organik yang menarik untuk diteliti adalah penggunaan sekam padi. Hal ini disebabkan sifat sekam padi yang rendah nilai gizinya, tahan terhadap pelapukan, memiliki kandungan abu yang tinggi, menyerupai kandungan kayu, serta mempunyai kandungan

karbon yang cukup tinggi. Selain itu ketersediaan limbah sekam padi yang cukup banyak di sekitar tempat penggilingan padi dan pemanfaatannya yang masih terbatas (Widayanti dkk., 2012).

Sekam padi adalah limbah pertanian yang dihasilkan sebagai produk samping dari industri pengolahan padi. Sekam padi dapat digunakan untuk adsorpsi pada system kontrol untuk limbah perairan. Sekam padi dapat digunakan sebagai adsorben karena selain merupakan material berpori juga mempunyai gugus aktif yaitu Si-O-Si dan Si-OH (Riapanitra dkk., 2006). Sekam padi memiliki struktur granular, tidak larut dalam air, memiliki stabilitas kimia, kekuatan mekaniknya tinggi, dan sekitar 20% dari seluruh beras merupakan sekam. Sekam terdiri atas kurang lebih 32% selulosa, 21% hemiselulosa, 21% lignin, 20% silika dan 3% protein kasar (Bansal *et al.*, 2009).

Penggunaan sekam padi sebagai adsorben telah dilakukan, baik untuk pengolahan logam berat ataupun penghilangan warna. Beberapa penelitian terdahulu mengenai penggunaan sekam padi sebagai adsorben diantaranya telah dilakukan oleh Shih (2012), Naiya *et al.* (2009), Bansal *et al.* (2009), El-Shafey (2010), Wahjuni dan Kostradiyanti (2008), Widayanti dkk. (2012), Pathiraja *et al.* (2014), Sharma *et al.* (2010), Ashiq *et al.* (2012), Riapanitra dkk. (2006), dan Chakraborty *et al.* (2011), dan Chowdhury *et al.* (2011).

Shih (2012) melakukan penelitian mengenai kinetika adsorpsi *Methylene Blue* menggunakan adsorben sekam padi dengan agen aktivasi berupa larutan asam dan basa. Pada penelitian ini, Shih menggunakan dosis adsorben sebanyak 2 gram dalam 100 mL larutan *Methylene Blue* dengan konsentrasi 50 mg/L. Kecepatan pengadukan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 125 rpm. Pada penelitian ini Shih membandingkan tiga model kinetika adsorpsi, yaitu kinetika orde satu semu, orde dua semu, dan model Elovich. Berdasarkan penelitian ini, kinetika adsorpsi *Methylene Blue* sesuai dengan model kinetika orde dua semu dengan koefisien korelasi (R^2) 0,9977.

Naiya *et al.* (2009) melakukan penelitian menggunakan abu sekam padi untuk mengurangi konsentrasi Pb (II). Pada penelitian ini Naiya menggunakan abu sekam padi yang berasal dari sisa pembakaran sekam padi di tempat penggilingan. Dosis optimum pada penelitian ini adalah sebesar 5 g/L dengan pH 5. Kinetika

adsorpsi pada penelitian ini mengikuti model kinetika orde dua semu, sedangkan isoterm yang sesuai adalah isoterm Freundlich.

Penelitian yang dilakukan oleh Bansal *et al.* (2009) merupakan penelitian mengenai pemanfaatan sekam padi untuk mengurangi konsentrasi Cr (VI) dalam limbah sintetis. Pada penelitian ini sekam padi diaktivasi dengan dua cara, yaitu merebus sekam padi dalam air destilasi selama 5 jam kemudian dikeringkan dalam oven (80°C) selama 24 jam dan aktivasi dengan merendam sekam dalam larutan formaldehid 1% selama 24 jam. Persen removal Cr (VI) pada penelitian ini sebesar 71% (aktivasi dengan perebusan) dan 76,5% (aktivasi dengan formaldehid). Dosis sekam padi optimum adalah sebesar 20 g/L dengan pH 2.

El-Shafey (2009) menggunakan sekam padi yang diaktivasi dengan asam sulfat 13 M untuk mengurangi konsentrasi logam Zn (II) dan Hg (II). Proses adsorpsi Zn (II) pada penelitian ini dilakukan menggunakan dosis adsorben 0,1 gram, pH 6, dan konsentrasi adsorbat 50 mg/L, sedangkan untuk Hg (II) dosis adsorben 0,075 gram dengan konsentrasi adsorbat 200 mg/L. Berdasarkan penelitian ini diperoleh informasi bahwa adsorpsi Zn (II) mencapai titik ekuilibrium lebih cepat jika dibandingkan dengan adsorpsi Hg (II). Adsorpsi Zn (II) hanya memerlukan waktu 2 jam, sedangkan adsorpsi Hg (II) memerlukan waktu 120 jam. Kinetika adsorpsi yang sesuai dengan penelitian ini adalah model kinetika orde dua semu.

Wahjuni dan Kostradiyanti (2008) melakukan penelitian dengan menggunakan sekam padi IR 64 yang diaktifkan dengan kalium hidroksida untuk menurunkan angka peroksida minyak kelapa tradisional. Aktivasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan cara membakar sekam padi pada suhu 400°C selama 1 jam, kemudian merendamnya dalam larutan KOH 5%, 10%, dan 15%. Berdasarkan penelitian ini, angka peroksida dapat berkurang hingga 84,4%. Isoterm adsorpsi yang sesuai dengan proses adsorpsi ini adalah isoterm Langmuir.

Penelitian mengenai studi daya aktivasi sekam padi pada proses adsorpsi logam Cd telah dilakukan oleh Widayanti dkk. (2012). Pada penelitian ini, arang sekam padi dibuat dengan cara membakar sekam pada suhu 250°C, setelah itu arang diaktivasi dengan cara direndam dalam NaCl 20% selama 1 hari, kemudian kembali dipanaskan selama 2 jam pada suhu 300°C. Persen

penyisihan logam cadmium menggunakan adsorben ini adalah sebesar 19,03%.

Pathiraja *et al.* (2014) melakukan penelitian menggunakan sekam padi yang diaktivasi secara fisik dan fisik-kimia untuk mengolah Cu^{2+} . Pada penelitian ini, sekam padi diaktivasi dengan cara dibakar pada suhu 500°C selama 2 jam, kemudian direndam dalam asam asetat 1 M selama 24 jam. Hasil penelitian ini, adsorben sekam padi dapat mengurangi konsentrasi Cu^{2+} sebanyak 99% (aktivasi kimia-fisika) dan 95% (aktivasi fisika). Isoterm adsorpsi yang sesuai pada penelitian ini adalah isoterm Langmuir dengan koefisien korelasi (R^2) 0,993.

Sharma *et al.* (2010) melakukan penelitian mengenai pemanfaatan sekam padi dan abu sekam padi sebagai adsorben untuk mengurangi konsentrasi *Methylene Blue*. Pada penelitian ini, sekam padi dikeringkan pada suhu 373°C selama 48 jam dalam oven untuk membuat adsorben sekam padi, sedangkan abu sekam padi berasal dari penggilingan padi. Proses adsorpsi pada penelitian ini dilakukan dengan kecepatan pengadukan 4 rps (240 rpm), variasi waktu kontak yang digunakan 20-180 menit. Waktu optimum pada penelitian ini adalah 30 menit dan pH optimum berada pada pH netral (pH 7). Persen removal pada penelitian hampir mencapai 100%. Pada penelitian ini ditentukan bahwa isoterm adsorpsi yang sesuai adalah isoterm Langmuir dengan koefisien korelasi (R^2) 0,999.

Penelitian mengenai penggunaan sekam padi teraktivasi kimia telah dilakukan oleh Ashiq *et al.* (2012). Pada penelitian ini, adsorben disiapkan dengan cara merendam sekam padi pada larutan NaOH 0,1 N selama 4 jam, setelah itu direndam kembali dalam larutan asam sulfat 0,1 N selama 2 jam. Kecepatan pengadukan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 120 rpm selama 30 menit. Berdasarkan penelitian ini, pH optimum adalah 8. Kinetika penelitian ini mengikuti model kinetika orde dua semu dengan koefisien korelasi (R^2) 0,9988 dan isoterm yang sesuai adalah isoterm Langmuir dengan R^2 0,9891.

Riapanitra dkk. (2006) melakukan penelitian mengenai penentuan waktu kontak dan pH optimum penyerapan *Methylene Blue* menggunakan abu sekam padi. Abu sekam padi pada penelitian ini dibuat dengan cara membakar sekam padi pada suhu 600°C selama 4 jam. Konsentrasi adsorbat yang digunakan 20

mg/L dengan dosis 0,1 gram. Variasi waktu kontak dilakukan pada rentang 10-60 menit. Waktu kontak optimum berdasarkan penelitian ini ada pada menit ke-10 dengan persen removal 81%. Selain variasi waktu kontak, divariasikan juga pH adsorbat pada rentang 3-8, dimana pH optimum yang diperoleh adalah 3.

Chakraborty *et al.* (2011) menggunakan sekam padi yang dimodifikasi menggunakan NaOH untuk mengurangi konsentrasi pewarna *crystal violet*. Pada penelitian ini, isoterm adsorpsi yang sesuai adalah isoterm Freundlich dengan koefisien korelasi (R^2) berkisar antara 0.999-1. Kinetika adsorpsi yang digunakan adalah model orde satu semu dan model orde dua semu, dimana model yang lebih sesuai adalah model orde dua semu.

Penelitian menggunakan sekam padi yang dimodifikasi dengan NaOH untuk mengurangi konsentrasi pewarna *malachite green* telah dilakukan oleh Chowdhury *et al.* (2011). Pada penelitian ini, sekam padi direndam dalam larutan NaOH 5%. Kecepatan pengadukan yang digunakan adalah 200 rpm dengan waktu kontak 2 jam. Penelitian ini memvariasikan pH, konsentrasi pewarna, dan suhu. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa adsorpsi pewarna *malachite green* dengan sekam padi mengikuti isoterm adsorpsi Freundlich, sehingga adsorpsi terjadi pada *multilayer*. Adapun mekanisme adsorpsi yang mungkin terjadi adalah perpindahan molekul pewarna dari adsorbat dan melekat pada permukaan adsorben; difusi pewarna melalui layer adsorben; adsorpsi pewarna yang berlangsung pada permukaan adsorbat termodifikasi; dan difusi intrapartikel pewarna ke dalam pori adsorben.

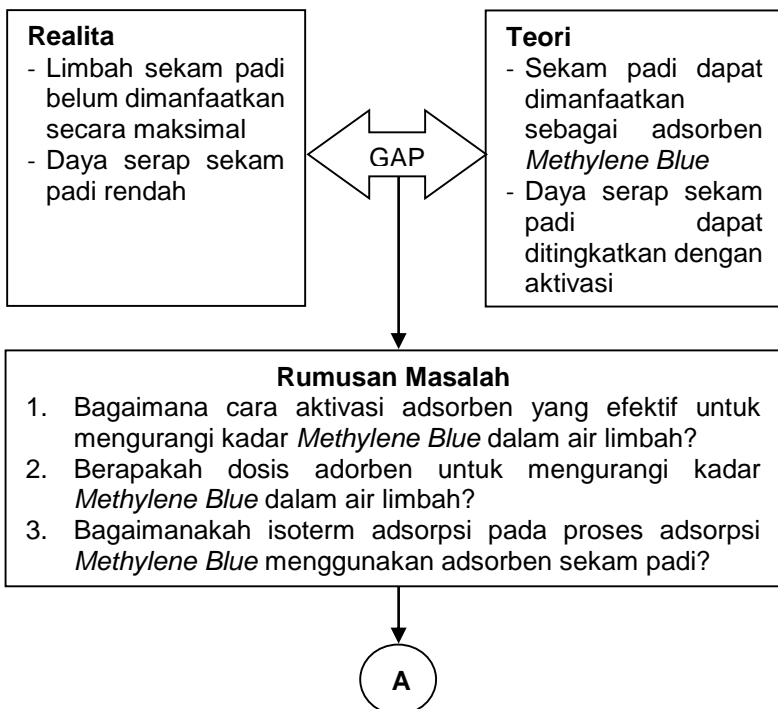
Halaman ini sengaja dikosongkan

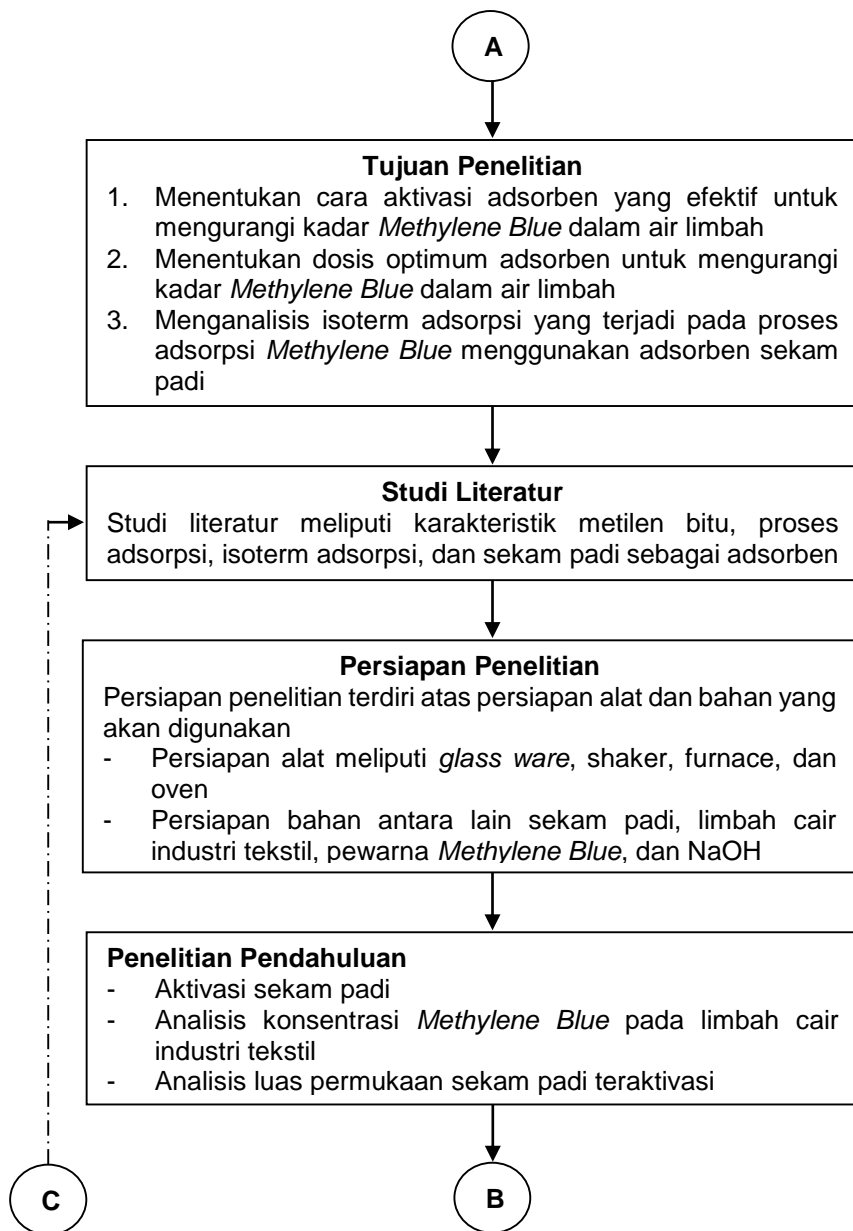
BAB 3 METODE PENELITIAN

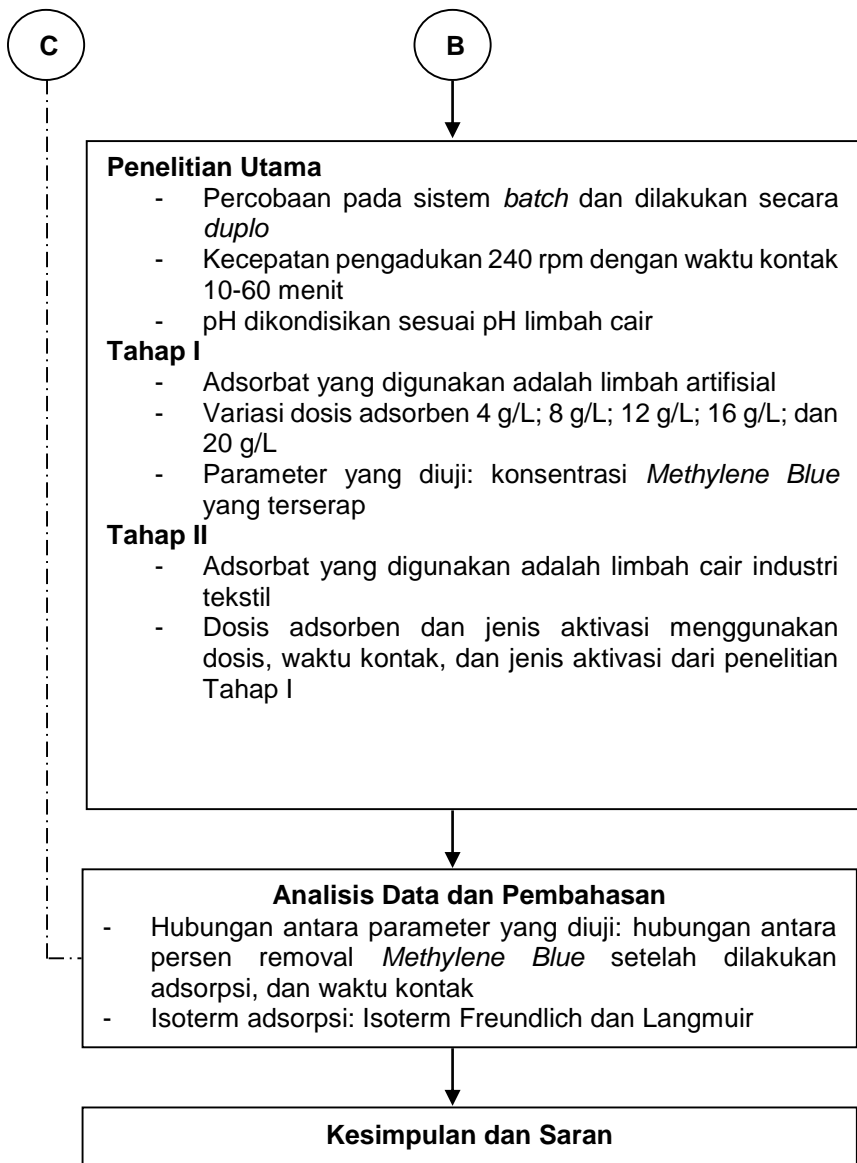
3.1. Kerangka Penelitian

Pada kerangka penelitian (Gambar 3.1) ini akan digambarkan tahapan penelitian yang bertujuan sebagai berikut.

- a. Sebagai gambaran awal mengenai tahapan-tahapan penelitian secara sistematis agar pelaksanaan penelitian dan penulisan laporan menjadi sistematis, terarah dan mengurangi terjadinya kesalahan dalam pelaksanaannya.
- b. Mengetahui tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian mulai dari awal hingga akhir penelitian, dan digunakan sebagai acuan dari awal penelitian sampai penulisan laporan tugas akhir.
- c. Memudahkan dalam mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian demi tercapainya tujuan.







Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan bagian yang berisikan langkah-langkah akan dilakukan selama penelitian. Bagian ini merupakan penjelasan dari kerangka penelitian yang dibuat detail dan terstruktur. Pembuatan tahapan pelaksanaan penelitian yang terstruktur ini akan memudahkan peneliti dalam melaksanakan penelitian. Penjelasan mengenai tahapan penelitian yang akan dilaksanakan dapat dilihat di bawah ini.

1) Ide Penelitian

Ide penelitian ini adalah pengaruh aktivasi dan dosis sekam padi untuk mengurangi konsentrasi *Methylene Blue* dalam air limbah. Ide ini muncul karena adanya 'GAP' antara kondisi ideal dengan kondisi realita, yaitu kurangnya pemanfaatan limbah sekam padi. Kondisi lainnya yang melatarbelakangi penelitian ini adalah daya serap sekam padi yang rendah sehingga memerlukan aktivasi untuk memperbesar daya serapnya.

2) Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini terdiri atas aktivasi sekam padi yang paling efektif untuk mengurangi konsentrasi *Methylene Blue* dalam limbah. Selain itu, rumusan masalah yang kedua adalah dosis sekam padi optimum yang diperlukan untuk mengurangi konsentrasi *Methylene Blue* dalam limbah.

3) Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mereview hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini, seperti karakteristik *Methylene Blue*, proses adsorpsi, isoterm adsorpsi, dan adsorben sekam padi. Literatur yang digunakan berasal dari jurnal baik internasional maupun nasional dan *text book*.

4) Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian yang dilakukan adalah persiapan alat dan bahan. Bahan dan alat yang perlu dipersiapkan dapat dilihat di bawah ini.

Bahan

- Sekam padi yang telah dikeringkan
- Limbah cair industri tekstil
- Pewarna *Methylene Blue*

Pewarna *Methylene Blue* ini digunakan untuk membuat limbah artifisial. Konsentrasi limbah artifisial ini

disesuaikan dengan konsentrasi limbah cair industri tekstil.

- NaOH 0,1 N (Merck)
NaOH digunakan untuk mengaktivasi sekam padi dan sebagai buffer basa.
- H₂SO₄ 0,1 N (Merck)
H₂SO₄ digunakan sebagai buffer asam.

Alat

- Labu erlenmayer 100ml (Schott Duran)
- Labu ukur (Iwaki)
- Shaker
- pH meter (Denver Instrument)
- Furnace (Sybron Thermolyne)
- Oven (Binder)
- Desikator
- Cawan porselen (Pyrex)
- Neraca analitik (Adventure Pro)
- Spektrofotometer
- BET Analyzer

5) Penelitian pendahuluan

Penelitian pendahuluan terdiri atas aktivasi sekam padi, analisis konsentrasi *Methylene Blue* pada limbah cair industri tekstil, dan analisis luas permukaan adsorben teraktivasi.

a. Aktivasi Sekam Padi

Aktivasi sekam padi yang akan dilakukan pada penelitian ini memiliki tiga variasi, yaitu: aktivasi fisika dengan pembakaran (Bello *et al.*, 2013), aktivasi kimia dengan perendaman dalam larutan NaOH (Chowdhury *et al.*, 2011), dan aktivasi fisik-kimia yang menggabungkan keduanya. Aktivasi fisika dilakukan dengan membakar sekam padi yang telah dipersiapkan dengan menggunakan *furnace* pada suhu $\pm 500^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam. Aktivasi kimia dilakukan dengan cara merendam sekam dalam larutan NaOH selama 24 jam. Aktivasi kimia-fisik dilakukan dengan cara membakar sekam hasil aktivasi kimia pada suhu $\pm 500^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam.

- b. Analisis konsentrasi *Methylene Blue* pada limbah cair industri tekstil

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi *Methylene Blue* pada limbah cair untuk selanjutnya diaplikasikan pada limbah artifisial. Analisis ini dilakukan menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 665 nm (Riapanitra dkk., 2006; Ashiq *et al.*, 2012).

- c. Analisis luas permukaan sekam padi
Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metode BET. BET (Brunauer–Emmett–Teller nitrogen adsorption technique) didasarkan pada siklus adsorpsi dan desorpsi isothermis gas nitrogen.

6) Karakterisasi Limbah Cair

Limbah cair yang digunakan berasal dari Kota Probolinggo. Konsentrasi *Methylene Blue* pada limbah cair ini adalah 24,7 mg/L dengan pH 12.

7) Penelitian Utama

Penelitian utama ini akan dilakukan dengan sistem *batch* (dalam labu Erlenmeyer 100 mL). Kecepatan pengadukan untuk mengontakkan limbah dengan adsorben adalah 240 rpm (Sharma *et al.*, 2010) dengan variasi waktu kontak 10-60 menit (Riapanitra dkk., 2006). Volume adsorbat yang digunakan pada penelitian ini adalah 100 mL. Penelitian akan dilakukan secara *duplo*. Penelitian ini terdiri atas dua tahap, penjelasan mengenai setiap tahapannya dapat dilihat di bawah ini.

a. Tahap I

Pada tahap ini, adsorbat yang digunakan adalah limbah artifisial. Limbah artifisial dibuat dari *Methylene Blue*. Konsentrasi limbah artifisial dibuat sama dengan limbah cair industri tekstil. Pada tahap ini, dilakukan variasi dosis adsorben yang ditambahkan, yaitu 4 g/L (Riapanitra dkk., 2006); 8 g/L; 12 g/L; 16 g/L; dan 20 g/L (Shih, 2012). Limbah ini dikondisikan memiliki pH yang sesuai dengan pH limbah cair industri tekstil dikarenakan beberapa jurnal memiliki pH optimum yang berbeda-beda.

b. Tahap II

Pada tahap ini, adsorbat yang digunakan adalah limbah cair industri tekstil. Dosis adsorben, jenis aktivasi, dan

waktu kontak menggunakan dosis, jenis aktivasi, dan waktu kontak optimum dari penelitian Tahap I.

Pada Tahap I dan II, parameter yang akan diuji adalah konsentrasi *Methylene Blue* dan pH. Analisis yang akan dilakukan terhadap kedua parameter dapat dilihat di bawah ini.

1. Analisis konsentrasi *Methylene Blue* dalam limbah
Analisis ini dilakukan menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 665 nm (Riapanitra dkk., 2006; Ashiq *et al.*, 2012).
2. Analisis pH
Analisis nilai pH diukur dengan menggunakan *Electrometric Method* (pH meter) dengan menggunakan alat pH meter Denver Instrument.

8) Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan terhadap data yang diperoleh dari hasil penelitian. Analisis data dilakukan dengan menganalisa hubungan antar setiap parameter pada proses adsorpsi ini, yaitu hubungan antara pH, konsentrasi *Methylene Blue* setelah dilakukan adsorpsi, dan waktu kontak.

Selain itu, pada penelitian ini dilakukan pula penentuan persentase adsorpsi untuk penurunan *Methylene Blue* sesuai dengan rumus (2.1). Kemudian, dari data yang diperoleh ditentukan kapasitas adsorpsi dengan model isoterm Freundlich dan Langmuir untuk selanjutnya dipilih isoterm paling representative untuk proses adsorpsi ini.

9) Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan dilakukan setelah melakukan analisis data dan pembahasan. Penarikan kesimpulan ini didasarkan pada hasil penelitian yang dilakukan dan tujuan yang dirumuskan pada awal penelitian. Kesimpulan harus berdasarkan fakta yang diperoleh selama penelitian. Pemberian saran dilakukan untuk perbaikan dan pengembangan penelitian mengenai pengaruh aktivasi dan dosis sekam padi untuk adsorpsi *Methylene Blue*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Luas Permukaan Adsorben

Luas permukaan merupakan salah satu parameter penting untuk mengetahui aktivasi yang paling optimum. Luas permukaan adsorben ini dianalisa menggunakan BET. Adapun hasil analisa BET untuk luas permukaan dan volume pori dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Luas Permukaan dan Volume Pori Adsorben untuk Setiap Aktivasi

Parameter	Aktivasi Fisika	Aktivasi Kimia	Aktivasi Kimia-Fisika
Luas Permukaan (m²/g)	128,06	0,28	0,15
Volume Pori (cc/g)	$2,31 \times 10^{-1}$	$1,17 \times 10^{-2}$	$2,42 \times 10^{-2}$

Berdasarkan Tabel 4.1 di atas, dapat disimpulkan bahwa aktivasi fisika merupakan aktivasi yang paling optimum. Hal ini dikarenakan adsorben dengan aktivasi fisika menghasilkan luas permukaan terbesar.

Luas permukaan dapat diperbesar dengan aktivasi fisika dikarenakan dengan aktivasi fisika akan terbentuk pori-pori halus di dalam adsorben. Pembentukan pori ini disebabkan oleh menguapnya elemen-elemen non karbon, seperti oksigen, nitrogen, dan karbonat selama proses pembakaran. Sementara itu, aktivasi kimia dengan NaOH dapat memperbesar luas permukaan dikarenakan hilangnya silika yang menutupi pori adsorben. Hal ini sesuai dengan persamaan reaksi:



Na₂SiO₃ yang terbentuk dari reaksi antara NaOH dan SiO₂ yang terdapat pada adsorben cenderung mudah larut dalam air, sehingga ketika proses pencucian adsorben dengan akuades, Na₂SiO₃ akan terlarut. Berkurangnya Na₂SiO₃ ini akan membuka pori-pori adsorben, sehingga luas permukaan akan meningkat (Liyana, 2013).

4.2. Pengaruh Waktu Kontak

Waktu kontak merupakan salah satu parameter yang penting dalam proses adsorpsi. Waktu kontak berpengaruh pada jumlah adsorbat yang terserap. Selain itu, waktu kontak diperlukan untuk menentukan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi dan memperkirakan kemungkinan pengaplikasian adsorben dalam pengolahan limbah cair. Pada penelitian ini, digunakan variasi waktu kontak antara 1-60 menit untuk setiap variasi aktivasi. Tabel 4.2 menunjukkan persen removal adsorben sekam padi dan konsentrasi *Methylene Blue* pada waktu kontak 1-60 menit dengan berbagai dosis.

Tabel 4.2 Konsentrasi *Methylene Blue* (MB) dan Persen Removal *Methylene Blue* (MB) menggunakan Berbagai Dosis Adsorben Sekam Padi

Waktu Kontak (menit)	Sisa Konsentrasi MB (mg/L)			Persen Removal MB (%)		
	AF	AK	AKF	AF	AK	AKF
Dosis 4 g/L						
0	29,706	28,768	29,393	0	0	0
2	12,805	13,138	13,859	56,9	54,3	52,9
5	10,106	11,021	10,809	66,0	61,7	63,2
10	6,104	9,154	7,953	79,5	68,2	72,9
15	5,485	7,648	6,622	81,5	73,4	77,5
20	4,358	6,788	5,430	85,3	76,4	81,5
25	3,517	5,818	4,653	88,2	79,8	84,2
30	3,396	5,088	4,173	88,6	82,3	85,8
40	3,221	4,515	3,295	89,2	84,3	88,8
50	2,897	4,127	3,036	90,2	85,7	89,7
60	2,787	3,517	2,685	90,6	87,8	90,9
Dosis 8 g/L						
0	29,706	28,768	29,393	0	0	0
2	11,178	11,409	11,040	62,4	60,3	62,4

Waktu Kontak (menit)	Sisa Konsentrasi MB (mg/L)			Persen Removal MB (%)		
	AF	AK	AKF	AF	AK	AKF
5	5,762	7,361	6,779	80,6	74,4	76,9
10	3,396	5,291	4,358	88,6	81,6	85,2
15	3,027	4,968	3,517	89,8	82,7	88,0
20	2,750	4,811	2,888	90,7	83,3	90,2
25	2,398	4,191	2,611	91,9	85,4	91,1
30	2,167	4,071	2,047	92,7	85,8	93,0
40	1,650	3,886	1,798	94,4	86,5	93,9
50	1,604	3,831	1,668	94,6	86,7	94,3
60	1,363	2,860	1,613	95,4	90,1	94,5
Dosis 12 g/L						
0	29,706	28,768	29,393	0	0	0
2	6,003	8,655	8,128	79,8	69,9	72,3
5	3,711	6,733	4,774	87,5	76,6	83,8
10	2,648	4,598	3,360	91,1	84,0	88,6
15	2,602	3,970	2,389	91,2	86,2	91,9
20	2,565	3,886	2,297	91,4	86,5	92,2
25	2,241	3,711	2,010	92,5	87,1	93,2
30	1,659	3,332	1,733	94,4	88,4	94,1
40	1,548	3,073	1,705	94,8	89,3	94,2
50	1,428	2,999	1,548	95,2	89,6	94,7
60	1,299	2,278	1,511	95,6	92,1	94,9
Dosis 16 g/L						
0	29,706	28,768	29,393	0	0	0
2	5,189	7,750	6,798	82,5	73,1	76,9
5	3,452	5,430	3,896	88,4	81,1	86,7
10	2,343	4,496	2,472	92,1	84,4	91,6

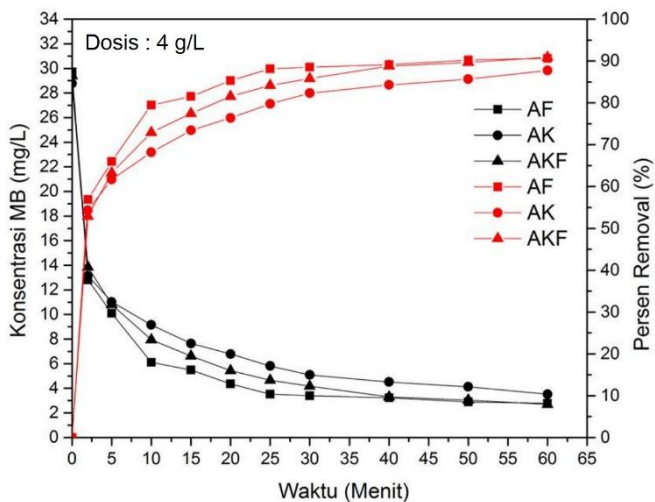
Waktu Kontak (menit)	Sisa Konsentrasi MB (mg/L)			Persen Removal MB (%)		
	AF	AK	AKF	AF	AK	AKF
15	2,121	3,812	2,158	92,9	86,7	92,7
20	1,927	3,581	1,918	93,5	87,6	93,5
25	1,816	3,212	1,844	93,9	88,8	93,7
30	1,613	3,091	1,687	94,6	89,3	94,3
40	1,483	2,565	1,659	95,0	91,1	94,4
50	1,262	2,232	1,483	95,8	92,2	95,0
60	1,197	1,881	1,391	96,0	93,5	95,3
Dosis 20 g/L						
0	29,706	28,768	29,393	0	0	0
2	4,034	6,474	6,271	86,4	77,5	78,7
5	2,870	4,589	3,433	90,3	84,0	88,3
10	2,260	3,276	2,371	92,4	88,6	91,9
15	2,001	2,990	2,047	93,3	89,6	93,0
20	1,862	2,759	1,825	93,7	90,4	93,8
25	1,650	2,408	1,705	94,4	91,6	94,2
30	1,456	2,186	1,585	95,1	92,4	94,6
40	1,419	2,112	1,511	95,2	92,7	94,9
50	1,040	1,899	1,446	96,5	93,4	95,1
60	0,901	1,576	1,372	97,0	94,5	95,3

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa persen removal *Methylene Blue* mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya waktu kontak, sehingga konsentrasi adsorbat semakin berkurang. Hal ini berarti bahwa semakin lama adsorben dikontakkan dengan adsorbat, maka penyerapan oleh adsorben akan meningkat, sehingga *Methylene Blue* yang tersisa pada larutan semakin berkurang.

Data pada Tabel 4.2 digunakan untuk penentuan waktu optimum yang nantinya akan digunakan pada penentuan dosis

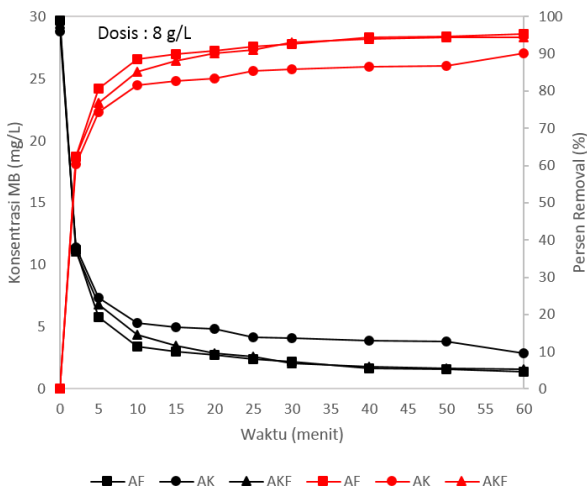
optimum. Penentuan waktu optimum dilakukan dengan memplotkan grafik antara konsentrasi (sumbu y), persen removal (sumbu y), dan waktu kontak (sumbu x). Grafik dibuat pada kondisi dosis adsorben yang berbeda-beda, untuk mengetahui pengaruh waktu kontak pada setiap dosis. Grafik ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.5.

Gambar 4.1-4.5 akan menunjukkan persen removal dan konsentrasi *Methylene Blue* sisa dengan dosis yang berbeda. Pada setiap grafik akan disajikan perbedaan persen removal menggunakan berbagai aktivasi adsorben, baik aktivasi fisika, aktivasi kimia, dan aktivasi kimia. Hal ini bertujuan untuk mengetahui aktivasi yang paling baik untuk adsorben dari segi persen removal *Methylene Blue*. Konsentrasi awal *Methylene Blue* yang digunakan untuk setiap aktivasi berbeda-beda (29,706 mg/L untuk aktivasi fisika, 28,768 mg/L untuk aktivasi kimia, dan 29,393 mg/L untuk aktivasi kimia-fisika). Namun, konsentrasi yang digunakan tetap berada pada rentang ± 30 mg/L. Hal ini dikarenakan pengenceran yang dilakukan untuk membuat limbah artifisial tidak memungkinkan konsentrasi *Methylene Blue* tepat 30 mg/L.



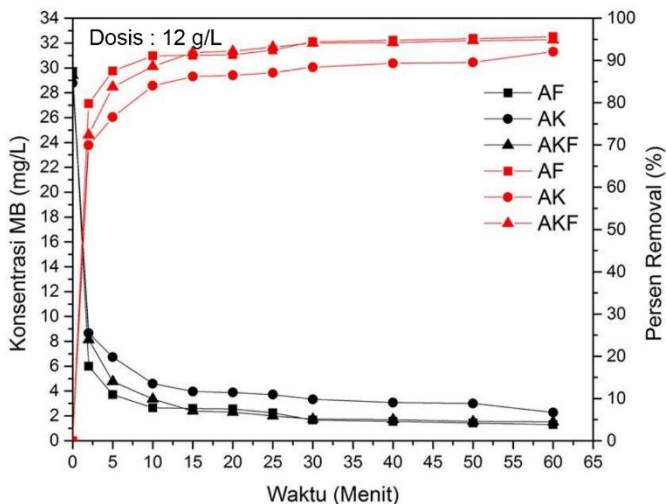
Gambar 4.1 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi *Methylene Blue* menggunakan Adsorben Sekam Padi (dosis 4 g/L)

Gambar 4.1 menunjukkan baik aktivasi fisika, kimia, ataupun kimia-fisika dengan dosis 4 g/L mengalami kenaikan persen removal pada setiap peningkatan waktu kontak. Hal ini berbanding terbalik dengan penurunan konsentrasi larutan *Methylene Blue*. Pada waktu kontak 1 menit, persen removal untuk adsorben aktivasi fisika 51,9%, aktivasi kimia 53,8%, dan 46,8%. Kemudian mengalami kenaikan yang cukup signifikan pada menit ke-2 dengan persen removal 56,9% (aktivasi fisika), 54,3% (aktivasi kimia), dan 52,9% (aktivasi kimia-fisika). Kenaikan yang cukup signifikan juga terjadi pada menit ke-10 yaitu 79,5% (aktivasi fisika), 68,2% (aktivasi kimia), dan 72,9% (aktivasi kimia-fisika). Kenaikan yang signifikan terjadi sampai menit ke-25, yaitu mencapai 88,2% (aktivasi fisika), 79,8% (aktivasi kimia), dan 84,2% (aktivasi kimia-fisika). Pada menit-menit selanjutnya, tetap terjadi kenaikan persen removal, akan tetapi tidak terlalu signifikan seperti 25 menit pertama. Hal ini dapat dilihat pada persen removal menit ke-30 yaitu 88,6% (aktivasi fisika), 82,3% (aktivasi kimia), dan 85,8% (aktivasi kimia-fisika).



Gambar 4.2 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi *Methylene Blue* menggunakan Adsorben Sekam Padi (dosis 8 g/L)

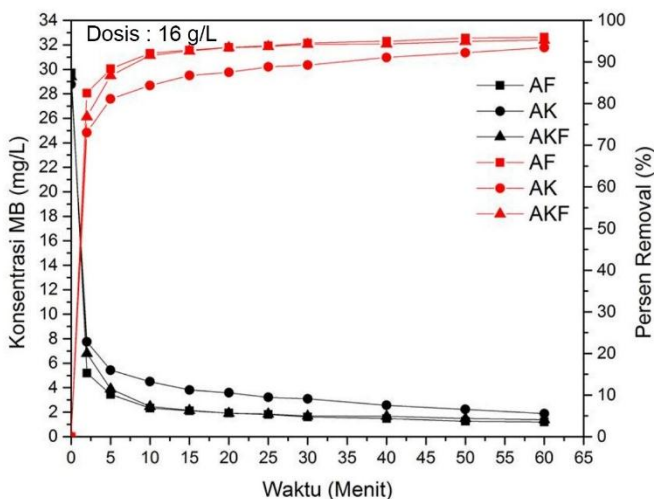
Peningkatan persen removal pada penambahan dosis 8 g/L (Gambar 4.1) memiliki pola yang hampir sama dengan dosis 4 g/L, walaupun besar persen removal pada dosis ini lebih tinggi dibanding dosis 4 g/L. Namun, berbeda dengan penambahan dosis 4 g/L, peningkatan persen removal yang signifikan pada dosis ini terjadi pada 10 menit pertama. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan persen removal pada menit ke-1 yaitu 62,4% (aktivasi fisika), 60,3% (aktivasi kimia), dan 62,4% (aktivasi kimia-fisika). Kemudian meningkat pada menit ke-2 menjadi 72,1% untuk aktivasi fisika, 68,9% untuk aktivasi kimia, dan 66,2% untuk aktivasi kimia-fisika. Peningkatan yang signifikan masih terjadi pada menit ke-5 yaitu 80,6% (aktivasi fisika), 74,4% (aktivasi kimia), dan 76,9 (aktivasi kimia-fisika). Persen removal meningkat mencapai 88,6% (aktivasi fisika), 81,6% (aktivasi kimia), dan 85,2% (aktivasi kimia-fisika) pada menit ke-10. Pada menit selanjutnya, masih terjadi peningkatan, tetapi peningkatan yang terjadi tidak terlalu signifikan, hanya sebesar $\pm 3\%$.



Gambar 4.3 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi *Methylene Blue* menggunakan Adsorben Sekam Padi dengan (dosis 12 g/L)

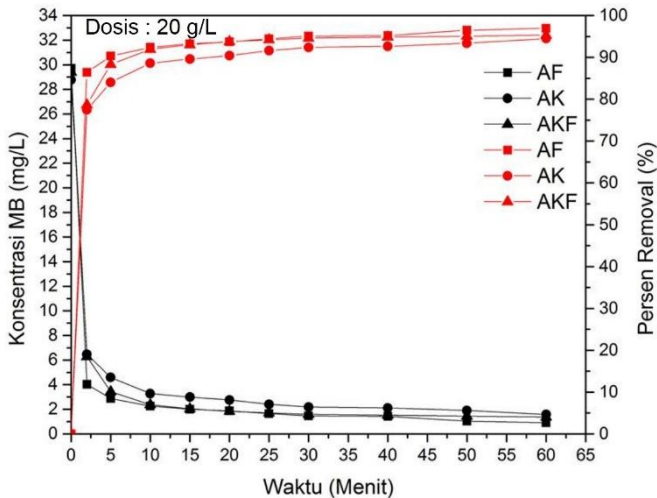
Gambar 4.3 menunjukkan grafik pengaruh waktu kontak menggunakan dosis 12 g/L. Seperti pada grafik sebelumnya,

terjadi peningkatan persen removal seiring dengan penambahan waktu kontak. Pada menit ke-1, persen removal untuk masing-masing aktivasi adalah 70,7% (aktivasi fisika), 65,1% (aktivasi kimia), dan 62,5% (aktivasi kimia-fisika). Peningkatan yang signifikan terjadi sampai pada menit ke-10, yaitu 91,1% (aktivasi fisika), 84% (aktivasi kimia), dan 88,6% (aktivasi kimia-fisika). Pada menit setelahnya, tetap terjadi peningkatan persen removal, tetapi tidak signifikan, hanya sekitar ± 1 -3%.



Gambar 4.4 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi *Methylene Blue* menggunakan Adsorben Sekam Padi (dosis 16 g/L)

Gambar 4.4 menunjukkan pola peningkatan yang hampir sama dengan grafik-grafik sebelumnya. Peningkatan signifikan terjadi sampai pada menit ke-10. Pada menit ke-1, persen removal setiap aktivasi masing-masing adalah 74,3% (aktivasi fisika), 67,2% (aktivasi kimia), dan 67,5% (aktivasi kimia-fisika). Kemudian peningkatan persen removal signifikan terjadi sampai menit ke-10 yaitu mencapai 92,1% (aktivasi fisika), 84,4% (aktivasi kimia), dan 91,6% (aktivasi kimia-fisika). Pada menit ke-15 dan menit setelahnya, tidak terjadi peningkatan yang signifikan jika dibandingkan dengan 10 menit pertama, yaitu hanya berkisar ± 1 -2%.



Gambar 4.5 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi *Methylene Blue* menggunakan Adsorben Sekam Padi (dosis 20 g/L)

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa kenaikan persen removal pada dosis 20 g/L untuk setiap waktu kontak tidak terlalu jauh berbeda jika dibandingkan dengan keempat grafik lainnya. Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada awal proses adsorpsi (1-10 menit) masih terjadi perubahan persen removal yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan menit-menit setelahnya. Pada menit ke-10 persen removal mencapai 92,4% (aktivasi fisika), 88,6% (aktivasi kimia), dan 91,9% (aktivasi kimia-fisika). Kemudian pada menit setelahnya, peningkatan yang terjadi tidak signifikan, yaitu hanya sekitar $\pm 1\%$.

Gambar 4.1-4.5 menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung cepat pada tahapan awal (1-25 menit untuk Gambar 4.1 dan 1-10 menit untuk Gambar 4.2-4.5). Setelah 10 menit, persen adsorpsi mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan. Proses adsorpsi berlangsung cepat pada waktu awal dikarenakan proses adsorpsi warna berlangsung pada layer adsorben bagian luar. Namun, setelah itu kecepatan adsorpsi menurun karena molekul pewarna mulai memasuki bagian dalam pori adsorben. Selain itu, kecepatan awal adsorpsi lebih cepat dibandingkan pada

menit setelahnya dapat disebabkan oleh banyaknya jumlah tempat berikatan untuk proses adsorpsi. Proses adsorpsi yang melambat dapat diakibatkan oleh jenuhnya tempat berikatan pada adsorben dan telah tercapainya kesetimbangan (Chowdhury *et al.*, 2011). Jadi, waktu optimum pada penelitian kali ini adalah 10 menit, dengan persen adsorpsi untuk masing-masing aktivasi adalah 92,4% (aktivasi fisika), 88,6% (aktivasi kimia), dan 91,9% (aktivasi kimia-fisika) dengan dosis 20 g/L.

Waktu optimum pada penelitian ini sesuai dengan jurnal milik Riapanitra dkk. (2006) yang menyatakan bahwa waktu kontak optimum proses adsorpsi adalah 10 menit. Namun, hal ini tidak sesuai jika dibandingkan dengan penelitian oleh Sharma *et al.* (2010) yang menyatakan bahwa waktu optimum penyerapan *Methylene Blue* menggunakan adsorben sekam padi terjadi pada waktu 30 menit. Waktu optimum ini juga berbeda dibandingkan dengan penyerapan *Methylene Blue* menggunakan bentonit yang berlangsung pada menit ke-60 (Liu *et al.*, 2014). Perbedaan waktu optimum ini terjadi dikarenakan perbedaan kondisi adsorbat yang digunakan (baik konsentrasi ataupun pH) dan perbedaan kecepatan pengadukan.

4.3. Pengaruh Dosis

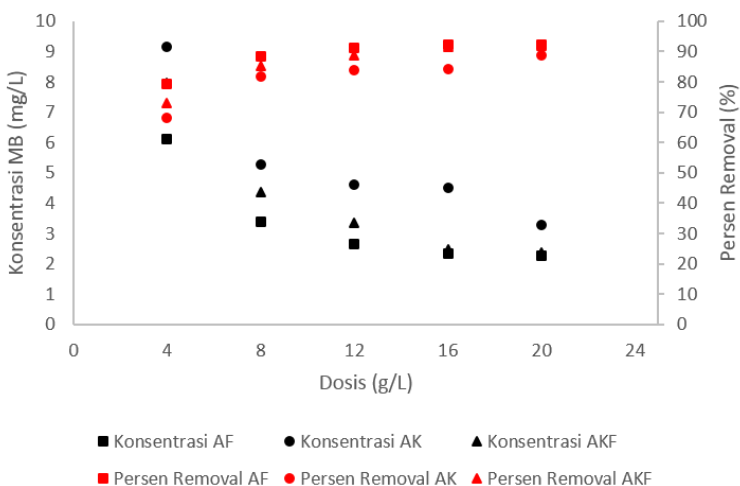
Dosis merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi, karena dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi adsorben. Pengaruh dosis pada penelitian kali ini dilakukan dengan cara mengubah dosis adsorben yang ditambahkan (4-20 g/L) pada konsentrasi adsorbat yang sama (± 30 mg/L). Persen removal *Methylene Blue* dengan berbagai variasi dosis pada waktu kontak 10 menit (waktu ekuilibrium) dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Persen Removal dan Konsentrasi *Methylene Blue* (MB) Setelah Adsorpsi pada Waktu Kontak 30 menit dengan konsentrasi awal MB 30g/L

Dosis (g/L)	Konsentrasi MB Sisa (mg/L)			Persen Removal MB (%)		
	AF	AK	AKF	AF	AK	AKF
4	6,104	9,154	7,953	79,5	68,2	72,9
8	3,396	5,291	4,358	88,6	81,6	85,2
12	2,648	4,598	3,360	91,1	84,0	88,6

Dosis (g/L)	Konsentrasi MB Sisa (mg/L)			Persen Removal MB (%)		
	AF	AK	AKF	AF	AK	AKF
16	2,343	4,496	2,472	92,1	84,4	91,6
20	2,260	3,276	2,371	92,4	88,6	91,9

Seperti dapat dilihat pada Tabel 4.2 di atas, bahwa kenaikan jumlah adsorben yang ditambahkan berbanding lurus dengan persen removal *Methylene Blue*. Peningkatan persen adsorpsi disebabkan oleh meningkatnya luas permukaan adsorben, sehingga menambah jumlah tempat berlangsungnya proses adsorpsi (Chakraborty *et al.*,2011). Hubungan antara konsentrasi, dosis, dan persen removal pada waktu optimum dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Pengaruh Dosis Terhadap Adsorpsi *Methylene Blue* dengan Adsorben Sekam Padi Pada Waktu Kontak 10 menit

Persen removal tertinggi terjadi pada dosis 20 g/L (Gambar 4.6). Pada dosis ini, persen removal mencapai 92,4% untuk aktivasi fisika, 88,6% untuk aktivasi kimia, dan 91,9% untuk aktivasi kimia-fisik. Namun, persen removal pada dosis ini tidak jauh berbeda dengan persen removal pada dosis 12 g/L yaitu 91,1%

(aktivasi kimia), 84% (aktvasi kimia), dan 88,6% (aktivasi kimia-fisika). Oleh karena itu, dengan mempertimbangkan kemungkinan pengaplikasian penggunaan adsorben, dosis 12 g/L dinggap lebih dapat digunakan. Persen removal pada penelitian ini lebih kecil jika dibandingkan dengan penelitian oleh Shih (2012) yang mencapai 98%. Removal ini juga lebih kecil apabila dibandingkan dengan adsorpsi *Methylene Blue* menggunakan adsorben karbon aktif yang mecapai 96,85% (Amalraj dan Pius, 2013). Namun, persen removal ini lebih besar jika dibandingkan dengan penelitian oleh Riapanitra dkk. (2006) yaitu sebesar 81%.

4.4. Isoterm Adsorpsi

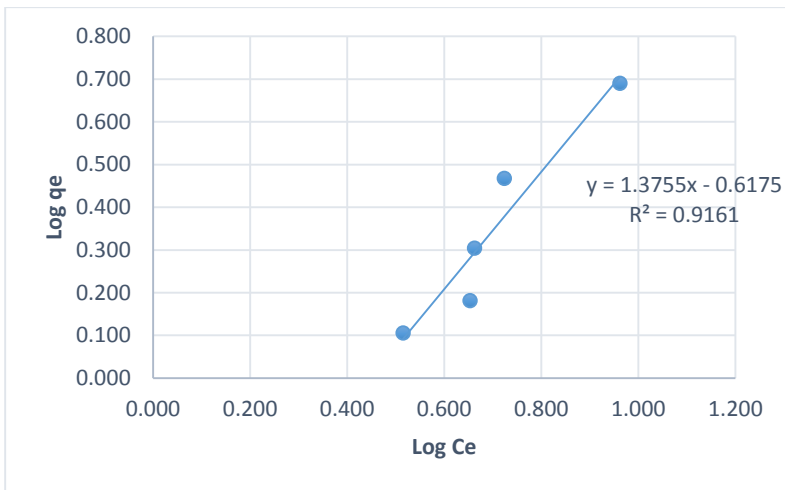
Isoterm adsorpsi merupakan hal yang penting dalam proses adsorpsi. Isoterm adsorpsi biasanya digunakan untuk menjelaskan interaksi yang terjadi antara adsorben dan adsorbat. Isoterm adsorpsi ini menggambarkan hubungan antara jumlah zat teradsorpsi dengan jumlah adsorben pada waktu kesetimbangan. Pada penelitian kali ini, digunakan isoterm Langmuir dan Freundlich, untuk selanjutnya dipilih pola isoterm yang lebih sesuai. Perhitungan isoterm adsorpsi dilakukan pada waktu optimum, baik untuk adsorben aktivasi fisika, kimia, ataupun kimia-fisika. Perhitungan isoterm pada semua variasi waktu kontak dapat dilihat di Lampiran C. Nilai-nilai variabel yang dibutuhkan untuk perhitungan isoterm Freundlich ($\log C_e$ dan $\log q_e$) dan isoterm Langmuir (C_e/q_e dan C_e) dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perhitungan Isoterm Adsorpsi Adsorben Sekam Padi Pada Waktu Kontak 10 menit, Konsentrasi Awal MB 29,706 mg/L (Aktivasi Fisika), 28,768 mg/L (Aktivasi Kimia), dan 29,393 mg/L (Aktivasi Kimia-Fisika); Volume Adsorbat 100 mL

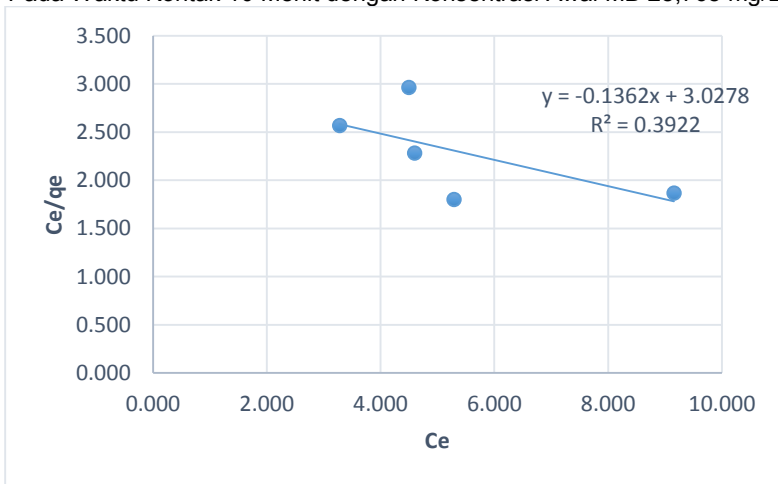
Massa adsorben (g)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\log C_e$	$\log q_e$	C_e/q_e	$\ln C_e$
Aktivasi Kimia (AK)						
0,4	9,154	4,903	0,962	0,690	1,867	2,214
0,8	5,291	2,935	0,724	0,468	1,803	1,666
1,2	4,598	2,014	0,663	0,304	2,283	1,526
1,6	4,496	1,517	0,653	0,181	2,964	1,503

Massa adsorben (g)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	Log C_e	Log q_e	C_e/q_e	Ln C_e
2,0	3,276	1,275	0,515	0,105	2,571	1,187
Aktivasi Fisika (AF)						
0,4	6,104	5,900	0,786	0,771	1,035	1,809
0,8	3,396	3,289	0,531	0,517	1,033	1,223
1,2	2,648	2,255	0,423	0,353	1,174	0,974
1,6	2,343	1,710	0,370	0,233	1,370	0,851
2,0	2,260	1,372	0,354	0,137	1,647	0,815
Aktivasi Kimia-Fisika (AKF)						
0,4	7,953	5,360	0,901	0,729	1,484	2,074
0,8	4,358	3,129	0,639	0,495	1,392	1,472
1,2	3,360	2,169	0,526	0,336	1,549	1,212
1,6	2,472	1,683	0,393	0,226	1,469	0,905
2,0	2,371	1,351	0,375	0,131	1,755	0,863

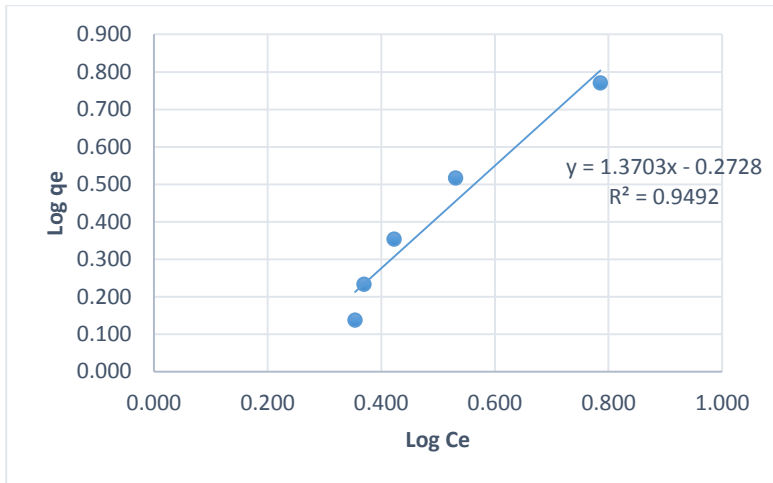
Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, Isoterm Freundlich dibuat dengan memplot nilai log C_e terhadap log q_e . Isoterm Langmuir dibuat dengan memplot nilai C_e terhadap C_e/q_e . Grafik isoterm Freundlich dan Langmuir untuk adsorben sekam padi aktivasi fisika, kimia, dan kimia-fisika dapat dilihat pada Gambar 4.3 sampai 4.8.



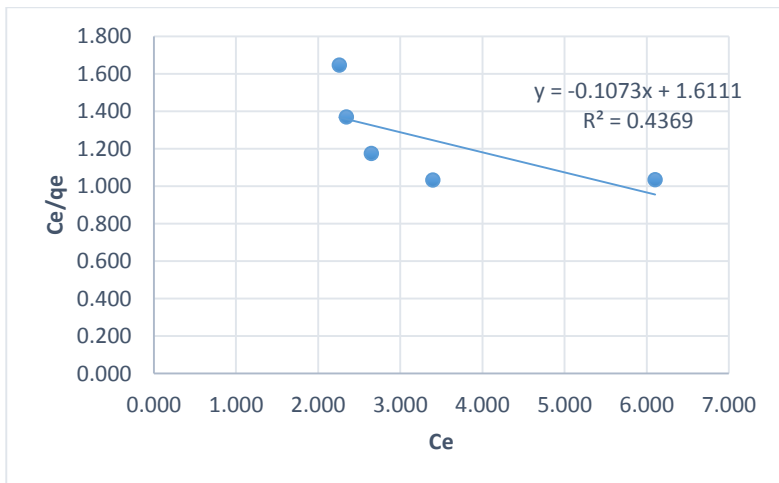
Gambar 4.7 Isoterm Freundlich Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia Pada Waktu Kontak 10 Menit dengan Konsentrasi Awal MB 28,768 mg/L



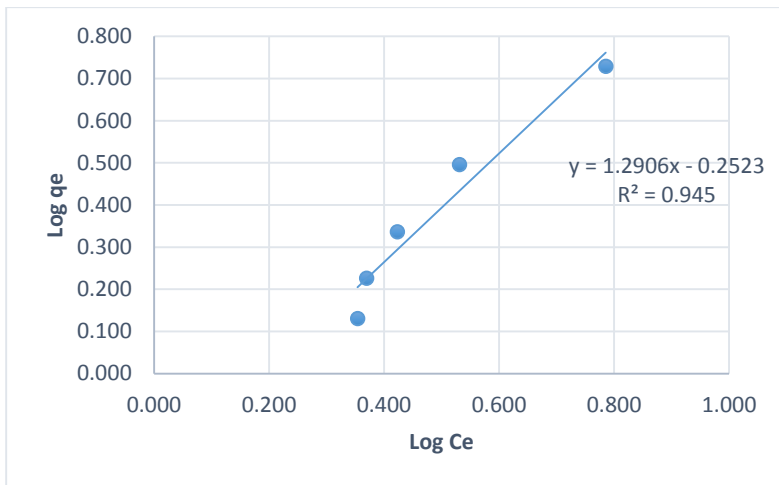
Gambar 4.8 Isoterm Langmuir Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia Pada Waktu Kontak 10 Menit dengan Konsentrasi Awal MB 28,768 mg/L



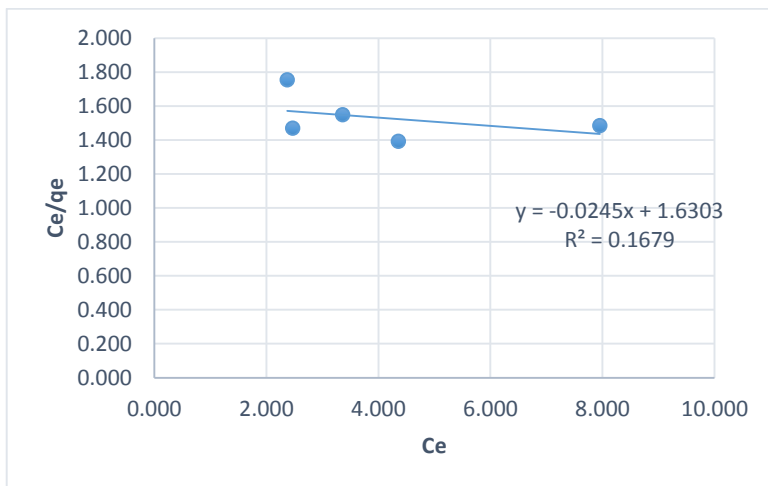
Gambar 4.9 Isoterm Freundlich Adsorben Sekam Padi Aktivasi Fisika Pada Waktu Kontak 10 Menit dengan Konsentrasi Awal MB 29,706 mg/L



Gambar 4.10 Isoterm Langmuir Adsorben Sekam Padi Aktivasi Fisika Pada Waktu Kontak 10 Menit dengan Konsentrasi Awal MB 29,706 mg/L



Gambar 4.11 Isoterm Freundlich Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia-Fisika Pada Waktu Kontak 10 Menit dengan Konsentrasi Awal MB 29,393 mg/L



Gambar 4.12 Isoterm Langmuir Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia-Fisika Pada Waktu Kontak 10 Menit dengan Konsentrasi Awal MB 29,393 mg/L

Berdasarkan grafik tersebut didapatkan bahwa isoterm Freundlich lebih linier dibandingkan isoterm Langmuir untuk semua aktivasi adsorben. Hal ini ditunjukkan dengan nilai R^2 grafik isoterm Freundlich yang lebih besar. Isoterm adsorpsi Freundlich lebih sesuai daripada isoterm Langmuir untuk proses adsorpsi *Methylene Blue* dengan adsorben sekam padi, baik aktivasi fisika, kimia, atau kimia-fisika. Isoterm Freundlich mengasumsikan adsorben melekat pada permukaan yang heterogen, sehingga adsorben melekat pada lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*). Isoterm ini juga mengasumsikan bahwa adsorpsi pada setiap permukaan memiliki energi ikatan yang berbeda (Foo dan Hameed, 2012).

Persamaan linier dari grafik isoterm Freundlich dan Langmuir digunakan untuk menentukan beberapa konstanta isoterm (Tabel 4.4) pada waktu optimum. Persamaan linier isoterm Freundlich dan Langmuir untuk variasi waktu yang lain dapat dilihat pada Lampiran C.

Tabel 4.5 Konstanta Isoterm Adsorpsi Freundlich dan Langmuir untuk Setiap Aktivasi Adsorben

Parameter Isoterm	Aktivasi Kimia	Aktivasi Fisika	Aktivasi Kimia-Fisika
Freundlich			
K_f (mg/g)	0,241	0,534	0,559
n	0,727	0,730	0,775
R^2	0,916	0,949	0,945
Langmuir			
q_{maks} (mg/g)	7,342	9,320	40,816
b (L/g)	0,045	0,067	0,015
R^2	0,392	0,437	0,168
R_L	0,436	0,336	0,694

Setelah didapat konstanta isoterm, maka persamaan adsorpsi Freundlich dan Langmuir untuk adsorben sekam padi aktivasi kimia (4.1 dan 4.2), fisika (4.3 dan 4.4), dan kimia-fisika (4.5 dan 4.6). Selain digunakan untuk menghitung q_e , konstanta isoterm Freundlich juga dapat digunakan untuk menghitung q_{max} (sesuai dengan rumus 2.4).

$$\frac{x}{m} = q_e = 0,241 C^{1/0,727} \dots\dots\dots 4.1$$

$$\frac{x}{m} = q_e = \frac{7,342.0,045C}{1+0,045C} \dots\dots\dots 4.2$$

$$\frac{x}{m} = q_e = 0,534 C^{1/0,730} \dots\dots\dots 4.3$$

$$\frac{x}{m} = q_e = \frac{9,320.0,067C}{1+0,067C} \dots\dots\dots 4.4$$

$$\frac{x}{m} = q_e = 0,559 C^{1/0,775} \dots\dots\dots 4.5$$

$$\frac{x}{m} = q_e = \frac{40,816.0,015C}{1+0,015C} \dots\dots\dots 4.6$$

Berdasarkan persamaan di atas dapat dihitung q_e untuk setiap dosis pada berbagai waktu kontak. Tabel di bawah ini merupakan nilai q_e setiap dosis pada waktu kontak optimum menggunakan persamaan Freundlich (Tabel 4.6) dan Langmuir (Tabel 4.7), sedangkan Tabel 4.8 merupakan hasil perhitungan q_{max} menggunakan persamaan isoterm Freundlich.

Tabel 4.6 Nilai q_e Pada Waktu Kontak Optimum (Isoterm Freundlich)

KODE	Persamaan Freundlich	q_e				
		4g/L	8g/L	12g/L	16g/L	20g/L
AK-10	$q_e = 0,241C^{1/0,727}$	5,072	2,386	1,967	1,908	1,234
AF-10	$q_e = 0,534C^{1/0,730}$	6,365	2,850	2,026	1,713	1,631
AKF-10	$q_e = 0,559C^{1/0,775}$	8,127	3,739	2,672	1,799	1,216

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis adsorben yang ditambahkan, nilai q_e akan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan nilai q_e menunjukkan jumlah adsorbat yang telah diserap oleh adsorben per satuan massa. Oleh karena itu, semakin besar massa adsorben, akan semakin kecil nilai q_e . Selain itu, nilai q_e juga dipengaruhi oleh C_e , dimana pada penelitian ini nilai C_e (konsentrasi adsorbat tersisa) lebih besar pada saat dosis adsorben yang digunakan kecil.

Tabel 4.7 Nilai q_e Pada Waktu Kontak Optimum (Isoterm Langmuir)

KODE	Persamaan Langmuir	q_e				
		4g/L	8g/L	12g/L	16g/L	20g/L
AK-10	$q_e = \frac{7,342.0,045C}{1 + 0,045C}$	2,960	1,785	1,563	1,530	1,130
AF-10	$q_e = \frac{9,320.0,067C}{1 + 0,067C}$	4,060	2,563	2,076	1,866	1,808

KODE	Persamaan Langmuir	qe				
		4g/L	8g/L	12g/L	16g/L	20g/L
AKF-10	$q_e = \frac{40,816.0,015C}{1 + 0,015C}$	2,836	1,589	1,233	0,912	0,676

Seperti pada Tabel 4.6, Tabel 4.7 juga mengalami penurunan nilai q_e untuk setiap peningkatan dosis yang ditambahkan. Hal ini dikarenakan nilai C_e pada dosis rendah lebih tinggi jika dibandingkan dengan dosis yang lebih besar.

Tabel 4.8 Nilai q_{max} dengan Perhitungan Isoterm Freundlich

KODE	Persamaan Isoterm	Kf	n	qmax
AK-10	$q_e = 0,241 C^{1/0,727}$	0,241	0,727	25,959
AF-10	$q_e = 0,534 C^{1/0,730}$	0,534	0,730	56,403
AKF-10	$q_e = 0,559 C^{1/0,775}$	0,559	0,775	45,089

Tabel 4.8 menunjukkan bahwa q_{max} paling tinggi dihasilkan oleh aktivasi fisika. Artinya, aktivasi fisika memiliki potensi untuk menyerap adsorbat lebih banyak jika dibandingkan dengan aktivasi lainnya.

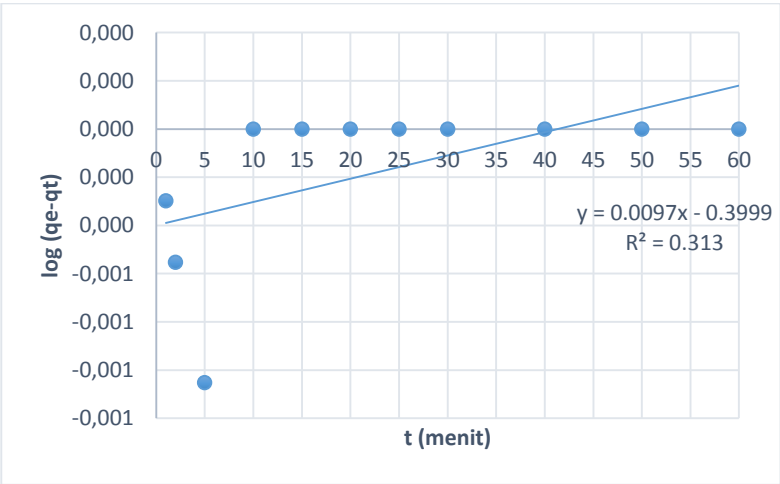
4.5. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan salah satu parameter untuk mengevaluasi proses adsorpsi pada adsorben yang diuji. Kinetika adsorpsi ditentukan dengan menganalisa banyaknya jumlah *Methylene Blue* yang terserap dari larutan pada waktu yang berbeda dan dosis yang sama. Pada penelitian kali ini, kinetika adsorpsi akan dianalisa menggunakan model kinetika orde satu semu dan orde dua semu. Nilai-nilai variabel untuk perhitungan kinetika adsorpsi terdapat pada Tabel 4.9. Grafik kinetika adsorpsi orde satu semu dan orde dua semu dapat dilihat pada Gambar 4.9-4.14.

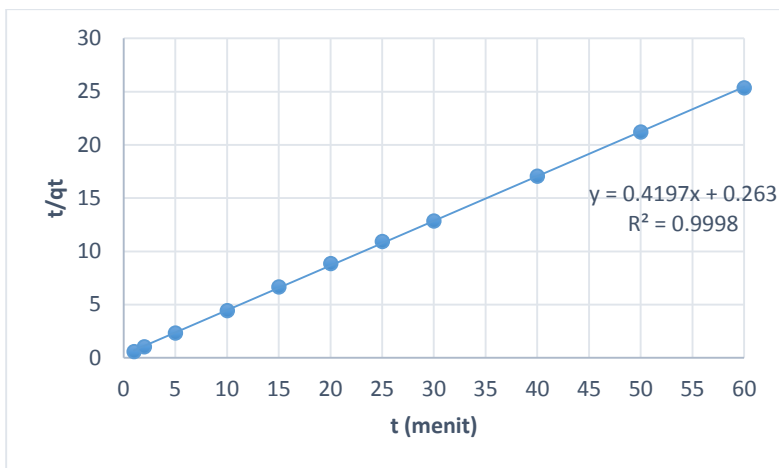
Tabel 4.9 Perhitungan Kinetika Adsorben Sekam Padi pada Dosis 12 g/L dengan Konsentrasi MB 29,706 mg/L (Aktivasi Fisika), 28,768 mg/L (Aktivasi Kimia), dan 29,393 mg/L (Aktivasi Kimia-Fisika); Volume Adsorbat 100 mL

Waktu	qt (mg/g)	(qe- qt)	Log (qe-qt)	t/qt	t ^{0.5}
Aktivasi Fisika					
1	1,751	0,504	-0,298	0,571	1,000
2	1,975	0,280	-0,554	1,013	1,414
5	2,166	0,089	-1,053	2,308	2,236
10	2,255	0,000	-	4,435	3,162
15	2,259	-0,004	-	6,641	3,873
20	2,262	-0,007	-	8,843	4,472
25	2,289	-0,034	-	10,923	5,000
30	2,337	-0,082	-	12,836	5,477
40	2,347	-0,092	-	17,047	6,325
50	2,357	-0,102	-	21,218	7,071
60	2,367	-0,112	-	25,345	7,746
Aktivasi Kimia					
1	1,560	0,454	-0,343	0,641	1,000
2	1,676	0,338	-0,471	1,193	1,414
5	1,836	0,178	-0,750	2,723	2,236
10	2,014	0,000	-	4,965	3,162
15	2,067	-0,052	-	7,259	3,873
20	2,073	-0,059	-	9,646	4,472
25	2,088	-0,074	-	11,973	5,000
30	2,120	-0,106	-	14,153	5,477
40	2,141	-0,127	-	18,681	6,325
50	2,147	-0,133	-	23,284	7,071
60	2,207	-0,193	-	27,180	7,746

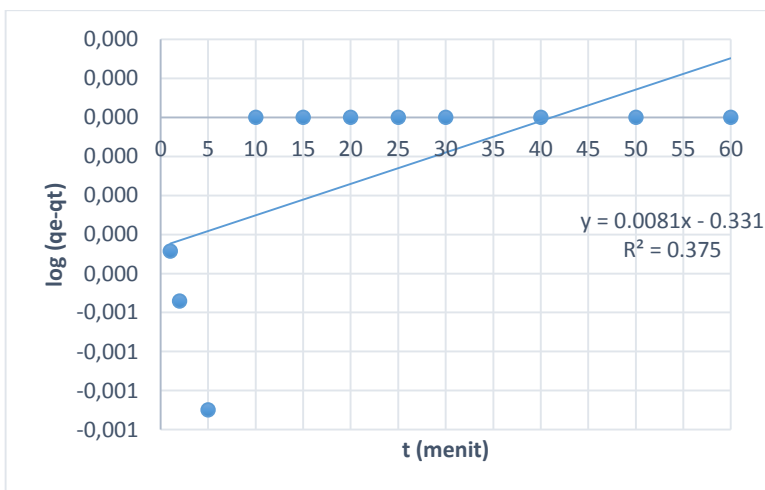
Waktu	qt (mg/g)	(qe- qt)	Log (qe-qt)	t/qt	t ^{0.5}
Aktivasi Kimia-Fisika					
1	1,532	0,638	-0,195	0,653	1,000
2	1,772	0,397	-0,401	1,129	1,414
5	2,052	0,118	-0,929	2,437	2,236
10	2,169	0,000	-	4,609	3,162
15	2,250	-0,081	-	6,666	3,873
20	2,258	-0,089	-	8,857	4,472
25	2,282	-0,112	-	10,956	5,000
30	2,305	-0,136	-	13,015	5,477
40	2,307	-0,138	-	17,336	6,325
50	2,320	-0,151	-	21,548	7,071
60	2,324	-0,154	-	25,823	7,746



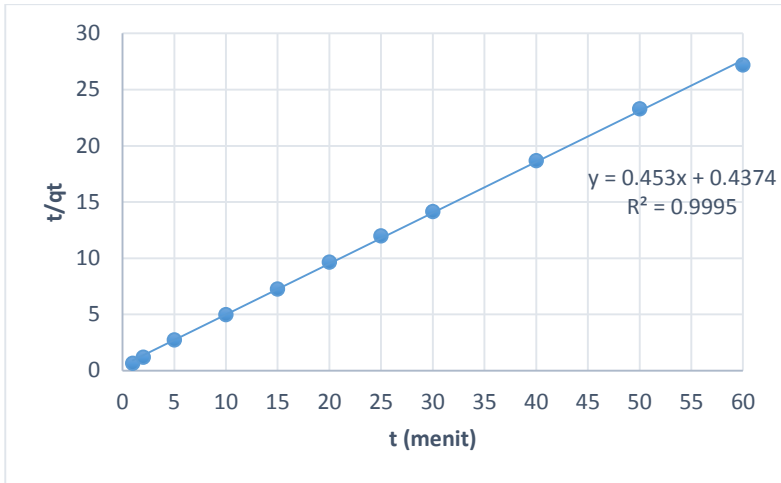
Gambar 4.13 Kinetika Orde Satu Semu Adsorben Sekam Padi Aktivasi Fisika dengan dosis 12 g/L; Konsentrasi Awal MB 29,706 mg/L



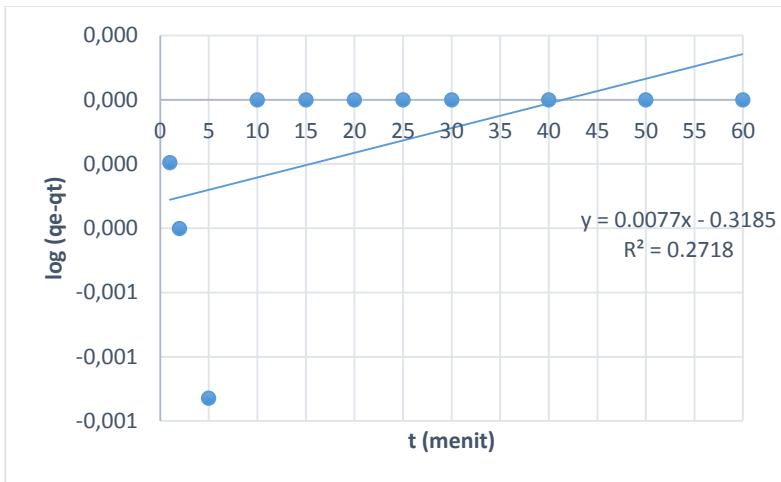
Gambar 4.14 Kinetika Orde Dua Semu Adsorben Sekam Padi Aktivasi Fisika dengan dosis 12 g/L; Konsentrasi Awal MB 29,706 mg/L



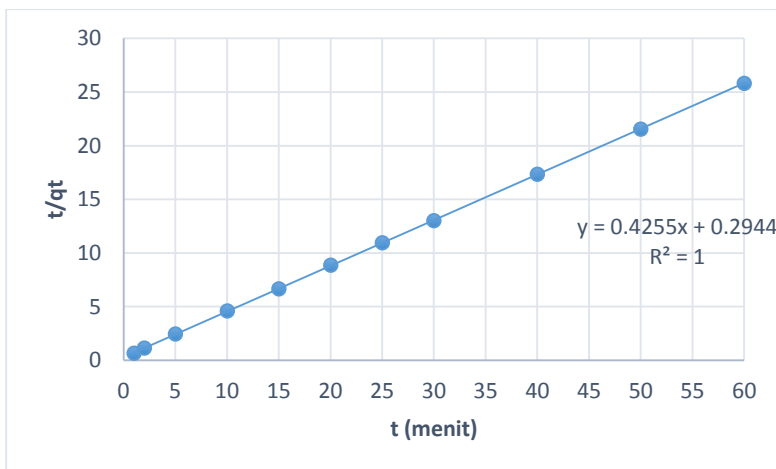
Gambar 4.15 Kinetika Orde Satu Semu Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia dengan dosis 12 g/L; Konsentrasi Awal MB 28,768 mg/L



Gambar 4.16 Kinetika Orde Dua Semu Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia dengan dosis 12 g/L; Konsentrasi Awal MB 28,768 mg/L



Gambar 4.17 Kinetika Orde Satu Semu Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia-Fisika dengan dosis 12 g/L; Konsentrasi Awal MB 29,393 mg/L



Gambar 4.18 Kinetika Orde Dua Semu Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia-Fisika dengan dosis 12 g/L; Konsentrasi Awal MB 29,393 mg/L

Grafik kinetika orde satu semu merupakan plot antara waktu (t) terhadap $\log (q_e - q_t)$, sedangkan grafik kinetika orde dua semu merupakan plot antara waktu (t) terhadap t/q_t . Berdasarkan grafik di atas dihasilkan persamaan linier yang digunakan untuk menentukan konstanta untuk kinetika orde satu semu (k_1 dan q_e perhitungan) dan kinetika orde dua semu (k_2 , q_e perhitungan, dan h).

Persamaan kinetika orde satu semu dan orde dua semu serta parameter kinetika untuk semua variasi dosis terdapat pada Lampiran C. Koefisien korelasi (R^2), konstanta kecepatan (k_1 dan k_2), serta kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (q_e perhitungan) ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Konstanta Kinetika Adsorpsi pada Dosis Optimum

Konstanta Kinetika Adsorpsi	Aktivasi Fisika	Aktivasi Kimia	Aktivasi Kimia-Fisika
q_{exp}	2,337	2,120	2,305
Orde Satu Semu			
q_e (mg/g) (Perhitungan)	0,398	0,467	0,480
k_1 (/menit)	0,022	0,019	0,018
R^2	0,313	0,375	0,272
Orde Dua Semu			

Konstanta Kinetika Adsorpsi	Aktivasi Fisika	Aktivasi Kimia	Aktivasi Kimia-Fisika
q _e (mg/g) (Perhitungan)	2,383	2,208	2,350
k ₂ (g/(mg.menit))	0,670	0,469	0,615
h (mg/(g.menit))	3,802	2,286	3,397
R ²	0,9998	0,9995	1

Adsorpsi *Methylene Blue* sesuai dengan model kinetika adsorpsi orde dua semu. Hal ini ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi (R²) adsorpsi *Methylene Blue* dengan adsorben sekam padi aktivasi fisika, kimia, dan kimia-fisik hampir mendekati satu. Selain itu, nilai kapasitas adsorpsi kinetika orde satu semu (q_e) memiliki nilai yang berbeda jauh jika dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi eksperimen (q_{exp}), sedangkan kapasitas adsorpsi pada kinetika orde dua semu memiliki nilai yang mendekati kapasitas adsorpsi eksperimen. Hal ini sesuai dengan penelitian Lin *et al.* (2013); Karaçetin *et al.* (2014) yang menyatakan bahwa adsorpsi *Methylene Blue* menggunakan adsorben sekam padi mengikuti kinetika orde dua semu. Konstanta laju (k₂) aktivasi fisika lebih besar dibanding dengan konstanta laju (k₂) aktivasi lainnya, sehingga dapat diperkirakan bahwa kecepatan adsorpsi pada aktivasi fisika lebih besar dari aktivasi lainnya.

Setelah didapat konstanta kinetika adsorpsi seperti pada Tabel 4.10, maka persamaan kinetika orde satu semu dan orde dua semu untuk adsorben sekam padi aktivasi kimia (4.7 dan 4.8), fisika (4.9 dan 4.10), dan kimia-fisika (4.11 dan 4.12) dapat dilihat di bawah ini.

$$\frac{dq_t}{dt} = 0,022 (0,398 - q_t) \dots\dots\dots(4.7)$$

$$\frac{dq_t}{dt} = 0,670 (2,383 - q_t)^2 \dots\dots\dots(4.8)$$

$$\frac{dq_t}{dt} = 0,019 (0,467 - q_t) \dots\dots\dots(4.9)$$

$$\frac{dq_t}{dt} = 0,469 (2,208 - q_t)^2 \dots\dots\dots(4.10)$$

$$\frac{dq_t}{dt} = 0,018 (0,480 - q_t) \dots\dots\dots(4.11)$$

$$\frac{dq_t}{dt} = 0,615 (2,350 - q_t)^2 \dots\dots\dots(4.12)$$

4.6. Adsorpsi Limbah Industri Tekstil

Pada penelitian kali ini, adsorpsi limbah industri tekstil dilakukan pada kondisi optimum yang diperoleh dari penelitian tahap sebelumnya. Kondisi optimum yang digunakan antara lain waktu kontak 10 menit dan dosis adsorben teraktivasi secara fisika 12 g/L. Konsentrasi *Methylene Blue* awal pada limbah cair ini adalah 24,7 mg/L dengan pH larutan 11,7. Setelah dilakukan proses adsorpsi, konsentrasi *Methylene Blue* berkurang menjadi 9,918 mg/L. Persen removal *Methylene Blue* pada limbah industri tekstil adalah 59,8%. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi perbedaan persen removal antara proses adsorpsi menggunakan limbah artifisial dengan limbah asli. Perbedaan persen removal ini dapat disebabkan oleh adanya pengganggu yang terkandung dalam limbah, seperti lilin. Adanya pengganggu ini dapat menghambat proses adsorpsi, sehingga menurunkan persen removal.

4.7. Uji Anova Pengaruh Aktivasi, Dosis, dan Waktu Kontak

Uji anova ini dilakukan untuk mengetahui apakah ada pengaruh yang signifikan antara beberapa variabel yang digunakan terhadap sisa konsentrasi *Methylene Blue*. Uji anova ini dilakukan dengan menggunakan program SPSS 16.0. Taraf kepercayaan yang digunakan adalah 95% ($\alpha = 0,05$). Variabel yang diuji pengaruhnya terhadap sisa konsentrasi adalah waktu kontak, jenis aktivasi, dan dosis. Adapun hasil uji anova dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Uji Anova Pengaruh Aktivasi, Dosis, dan Waktu Kontak

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
dosis adsorben	Between Groups	1379.109	148	9.318	87.369	.000
	Within Groups	61.006	572	.107		
	Total	1440.115	720			
waktu kontak	Between Groups	6444.927	148	43.547	116.814	.000
	Within Groups	213.234	572	.373		
	Total	6658.161	720			
jenis aktivasi	Between Groups	400.406	148	2.705	45.237	.000
	Within Groups	34.209	572	.060		
	Total	434.615	720			

Berdasarkan Tabel 4.10, dapat diketahui bahwa ketiga variabel memiliki pengaruh terhadap konsentrasi sisa *Methylene Blue*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi variabel dosis adsorben, waktu kontak, dan jenis aktivasi adalah 0,000 ($<0,05$).

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan seperti di bawah ini.

1. Aktivasi yang paling optimum untuk mengurangi kadar *Methylene Blue* dalam air limbah adalah aktivasi fisika, dengan persen removal mencapai 91,1% dengan waktu kontak 10 menit.
2. Dosis optimum untuk mengurangi konsentrasi *Methylene Blue* dalam air limbah adalah 12 g/L. Persen removal *Methylene Blue* pada dosis ini untuk limbah artifisial mencapai 91,1% (aktivasi fisika), 84% (aktivasi kimia), dan 88,6% (aktivasi kimia-fisika), sedangkan untuk limbah asli persen removalnya 59,8%.
3. Proses adsorpsi *Methylene Blue* menggunakan adsorben sekam padi sesuai dengan pola isoterm Freundlich dan kinetika adsorpsi model orde dua semu..

5.2. Saran

Saran yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah perlu dilakukan penelitian menggunakan variasi pH asam dan pH netral untuk mengetahui pengaruh pH pada proses adsorpsi *Methylene Blue*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, F., Appaturi, J.N., Khanam, Z., Thankappan, R., dan Nawi M.A.M. (2013). Utilization of Tin and Titanium Incorporated Rice Husk Silica Nanocomposite as Photocatalyst and Adsorbent for the Removal of Methylene Blue in Aqueous Medium. *Journal of Applied Surface Science*.
- Ahmad A., Rafatullah, M., Sulaiman, O., Ibrahim, M.H., Chii, Y.Y., dan Siddique, B.M. (2009). Removal of Cu(II) and Pb(II) Ions from Aqueous Solutions by Adsorption on Sawdust of Meranti Wood. *Journal of Desalination*.
- Ashiq, M.N., Najam-UI-Haq, M., Amanat, T., Saba, A., Qureshi, A.M., dan Nadeem, M. (2012). Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution using Acid/Base Treated Rice Husk as an Adsorbent. *Journal of Desalination and Water Treatment*.
- Ashrafi, S.D., Kamani, H., dan Mahvi, A.H. (2014). The Optimization Study of Direct Red 81 and Methylene Blue Adsorption on NaOH-Modified Rice Husk. *Journal of Desalination and Water Treatment*.
- Asip, F., Mardiah, R., dan Husna. (2008). Uji Efektivitas Cangkang Telur dalam Mengadsorpsi Ion Fe dengan Proses Batch. *Jurnal Teknik Kimia*.
- Bansal, M., Garg, U., Singh, D., dan Garg, V.K. (2009). Removal of Cr(VI) from Aqueous Solutions Using Pre-Consumer Processing Agricultural Waste: A Case Study of Rice Husk. *Journal of Hazardous Materials*.
- Chakraborty, S., Chowdhury, S., dan Saha P.D., (2011). Adsorption of Crystal Violet from Aqueous Solution onto NaOH-modified Rice Husk. *Journal of Carbohydrate Polymers*.
- Chowdhury, S., Mishra, R., Saha, P., dan Kushwaha P. (2011). Adsorption Thermodynamics, Kinetics, and Isosteric Heat of Adsorption of Malachite Green onto Chemically Modified Rice Husk. *Journal of Desalination*.
- Efendi, N.H. dan Sutanto, H. (2014). Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Sifat Optik Lapisan Tipis Zinc Oxide (ZnO) yang Dideposisi di Atas Substrat Kaca dan

- Aplikasinya untuk Mendegradasi Pewarna Methylene Blue. *Youngster Physics Journal*.
- El-Shafey, E.I. (2009). Removal of Zn (II) and Hg (II) from Aqueous Solution on a Carbonaceous Sorbent Chemically Prepared from Rice Husk. *Journal of Hazardous Materials*.
- Ergenekon, P. (2010). Adsorption: Lecture Note
- Febrianto, J., Kosasih, A.N., Sunarso, J., Ju, Y-H., Indraswati, N., dan Ismadji, S. (2009). Equilibrium and Kinetic Studies in Adsorption of Heavy Metals Using Biosorbent: a Summary of Recent Studies. *Journal of Hazardous Materials*.
- Foo, K.Y. dan Hameed, B.H. (2010). An Overview of Dye Removal via Activated Carbon Adsorption Process. *Journal of Desalination and Water Treatment*.
- Fu, F. dan Wang, Q. (2011). Removal of Heavy Metal Ions from Wastewaters: A Review. *Journal of Environmental Management*.
- Habibi, I. (2012). Tinjauan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil PT. Sukun Tekstil Kudus. Proyek Akhir Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Herlina. (2014). Studi Adsorpsi-Desorpsi Zat Warna *Methylene Blue* dalam Kitosan. Skripsi Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta.
- Iqbal, M.J. dan Ashiq, M.N. (2007). Thermodynamics of Adsorption of Dyes from Aqueous Media on Activated Charcoal. *Journal of Research (Science)*.
- Junaidi dan Hatmanto, B.P.D. (2006). Analisis Teknologi Pengolahan Limbah Cair Pada Industri Tekstil (Studi Kasus PT. Iskandar Indah Printing Textile Surakarta). *Jurnal Presipitasi*.
- Karaçetin, G., Sivrikaya, S., dan Imamoğlu, M. (2014). Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Activated Carbon Prepared from Hazelnut Husk Using Zinc Chloride. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.
- Kwartiningsih, E. dan Setiarini, N. (2005). Adsorpsi Logam Cu dari Limbah Elektroplating Menggunakan Karbon Aktif dalam Kolom Fixed Bed. *Ekilibrium*.

- Lakshmi, U.R., Srivastava, V.C., Mall, I.D., dan Lataye, D.H. (2009). Rice Husk Ash as an Effective Adsorbent: Evaluation of Adsorptive Characteristics for Indigo Carmine Dye. *Journal of Environmental Management*.
- Lesmana, S.O., Febriana, N., Soetaredjo, F.E., Sunarso, J., dan Ismadji, S. (2009). Studies on Potential Applications of Biomass for the Separation of Heavy Metals from Water and Wastewater. *Journal of Biochemical Engineering*.
- Liyana, N. (2013). Removal of Metal Ions from Aqueous Solution Using Rice Husk-Based Activated Carbon. Dissertation of Chemical Engineering Universiti Teknologi PETRONAS.
- Lyubchik, S., Lyubchik, A., Lygina, O., Lyubchik, S., dan Fonseca, I. (2011). Comparison of the Thermodynamic Parameters Estimation for Adsorption Process of the Metals from Liquid Phase on Activated Carbons. *Journal of Chemical Engineering*.
- Metcalf dan Eddy. (2004). Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. Fourth Edition. New York: Mc Graw Hill.
- Moertinah, S. (2008). Peluang-Peluang Produksi Bersih Pada Industri Tekstil Finishing Bleaching (Studi Kasus Pabrik Tekstil Finishing Bleaching PT. Damaiteks Semarang). Tesis Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang.
- Naiya, T.K., Bhattacharya, A.K., Mandal, S., dan Das, S.K. (2009). The Sorption of Lead(II) Ions on Rice Husk Ash. *Journal of Hazardous Materials*.
- Nugroho, R. dan Ikbali. (2005). Pengolahan Air Limbah Berwarna Industri Tekstil dengan Proses AOPs. *Jurnal Air Indonesia*.
- Purwaningsih, D. (2009). Adsorpsi Multi Logam Ag (I), Pb(II), Cr(III), Cu(II), dan Ni(II) Pada Hibrida Etilendiamino-Silika dari Abu Sekam Padi. *Jurnal Penelitian Saintek*.
- Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., Ahmad, A. (2009). Adsorption of Copper (II), Chromium (III), Nickel (II), and Lead (II) Ions from Aqueous Solutions by Meranti Sawdust. *Journal of Hazardous Materials*.
- Riapanitra, A., Setyaningtyas, T., dan Riyani, K. (2006). Penentuan Waktu Kontak dan pH Optimum Penyerapan Metilen Biru Menggunakan Abu Sekam Padi. *Jurnal Molekul*.

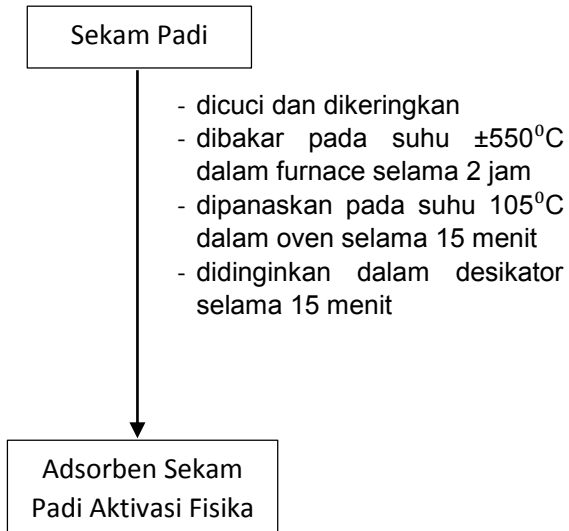
- Santos, S.C.R. dan Boaventura, R.A.R. (2008). Adsorption Modelling of Textile Dyes by Sepiolite. *Journal of Applied Clay Science*.
- Sembiring, M.T., dan Sinaga, T.S. (2003). Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya). Universitas Sumatera Utara Digital Library.
- Sharma, P., Kaur, R., Baskar, C., dan Chung, W-J. (2010). Removal of Methylene Blue from Aqueous Waste Using Rice Husk and Rice Husk Ash. *Journal of Desalination*.
- Shih, M-C. (2012). Kinetics of the Batch Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solutions onto Rice Husk: Effect of Acid-Modified Process and Dye Concentration. *Journal of Desalination and Water Treatment*.
- Suardana, I.N. (2008). Optimalisasi Daya Adsorpsi Zeolit Terhadap Ion Kromium (III). *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Sains & Humaniora*.
- Trisnawati, T. (2008). Studi Adsorpsi Karbon Mesopori Sintetik Terhadap Methylene Blue. Skripsi Jurusan Kimia Universitas Brawijaya, Malang.
- Wahjuni, S. dan Kostradiyanti, B. (2008). Penurunan Angka Peroksida Minyak Kelapa Tradisional dengan Adsorben Arang Sekam Padi IR 64 yang Diaktifkan dengan Kalium Hidroksida. *Jurnal Kimia*.
- Widayanti, Isa, I., dan Aman L.O. (2012) Studi Daya Aktivasi Arang Sekam Padi Pada Proses Adsorpsi Logam Cd. *Jurnal Penelitian Saintek*.
- Yagub, M.T., Sen, T.K., Afroze, S., dan Ang, H.M. (2014). Dye and Its Removal from Aqueous Solution by Adsorption: A Review. *Journal of Advances in Colloid and Interface Science*.

LAMPIRAN A

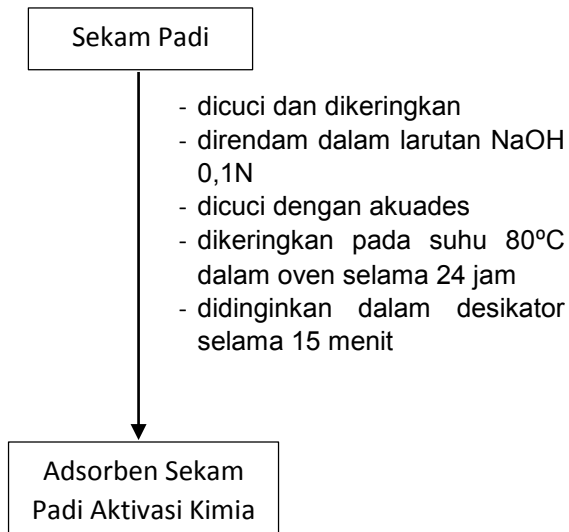
SKEMA KERJA

1. Pembuatan Adsorben

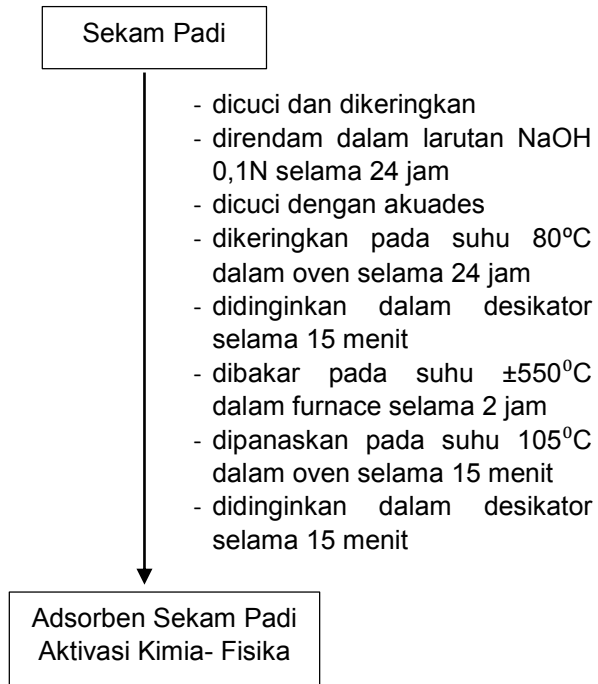
1.1. Adsorben Sekam Padi Aktivasi Fisika



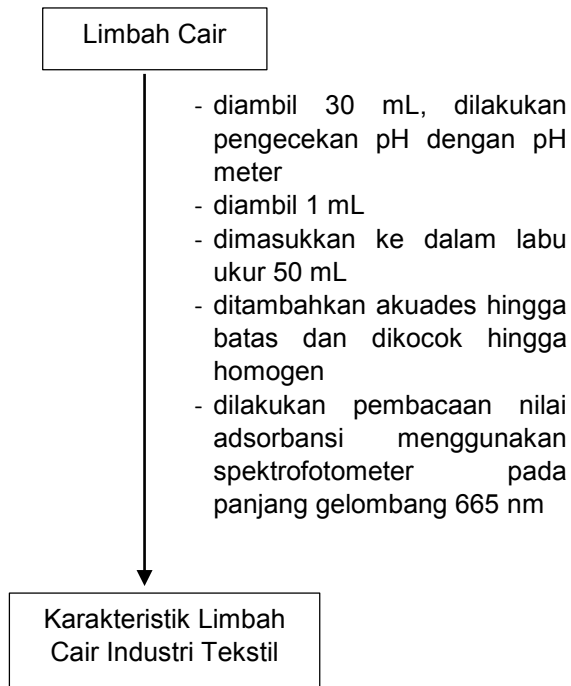
1.2. Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia



1.3. Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia-Fisika



2. Karakteristik Limbah Cair Industri Tekstil

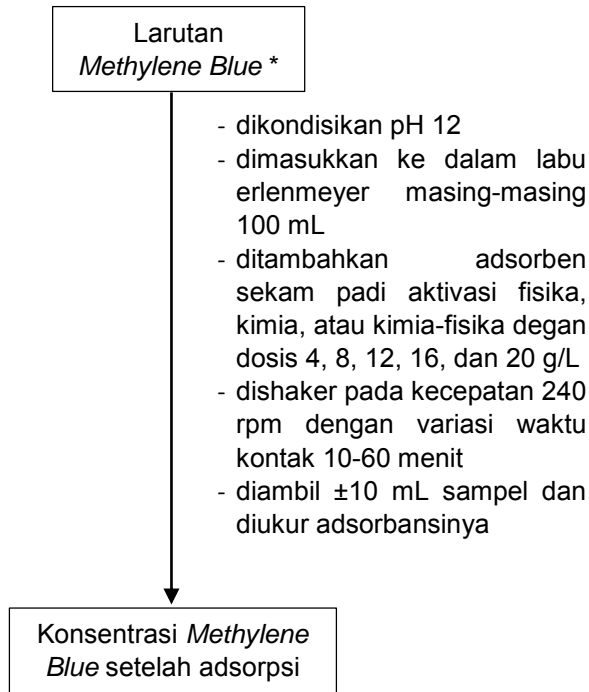


3. Studi Adsorpsi

3.1. Pembuatan Larutan Stok *Methylene Blue* Konsentrasi 100 mg/L



3.2. Penentuan Waktu Kontak dan Dosis Optimum



Catatan: * Konsentrasi larutan *Methylene Blue* yang digunakan adalah 30 mg/L

LAMPIRAN B PEMBUATAN REAGEN

1. Larutan *Methylene Blue* 30 mg/L

Larutan *Methylene Blue* dengan konsentrasi 30 mg/L dibuat dengan cara mengencerkan larutan stok konsentrasi 1000 mg/L. Adapun perhitungan pengenceran larutan *Methylene Blue* dapat dilihat di bawah ini.

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \cdot V_1 = 30 \text{ mg/L} \cdot 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 300 \text{ mL}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka pembuatan larutan *Methylene Blue* 30 mg/L dilakukan dengan mengambil sebanyak 300 mL larutan stok 100 mg/L menggunakan gelas ukur. Kemudian, larutan *Methylene Blue* dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL, ditambahkan akuades hingga batas dan dikocok sampai homogen.

2. Larutan NaOH 1 N

Larutan NaOH 1 M dibuat berdasarkan perhitungan di bawah ini.

$$M = \frac{\text{mol}}{\text{volum}}$$

$$1 \text{ mol/L NaOH} = \frac{n \text{ mol NaOH}}{1 \text{ L aquades}}$$

$$\begin{aligned} n \text{ mol NaOH} &= 1 \text{ mol/L NaOH} \times 1 \text{ L} \\ &= 1 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$- \quad \text{mol} = \frac{\text{massa}}{M_r} \quad (M_r \text{ NaOH} = 40 \text{ gram/mol})$$

$$1 \text{ mol NaOH} = \frac{m \text{ gram NaOH}}{40 \frac{\text{gram}}{\text{mol}}}$$

$$\begin{aligned} m \text{ gram NaOH} &= 1 \text{ mol NaOH} \times 40 \text{ gram/mol} \\ m &= 40 \text{ gram} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka pembuatan larutan NaOH adalah:

- a. Padatan NaOH ditimbang sebanyak 40 gram

- b. Padatan tersebut dimasukkan ke dalam gelas beaker 100 mL
- c. Ditambah akuades
- d. Diaduk hingga homogen
- e. Dimasukkan labu ukur 1000 mL
- f. Diencerkan dengan akuades hingga tanda batas dan dikocok sampai homogen
- g. Diperoleh larutan NaOH 1 N

3. Larutan NaOH 0,1 N

Larutan NaOH 0,1 N dibuat dengan cara mengencerkan larutan stok NaOH 1 N. Adapun perhitungan pengenceran larutan NaOH dapat dilihat di bawah ini.

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$1. V_1 = 0,1. 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 100 \text{ mL}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka pembuatan larutan NaOH 0,1 N dilakukan dengan mengambil sebanyak 100 mL larutan stok 1 N menggunakan gelas ukur. Kemudian, larutan NaOH dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL, ditambahkan akuades hingga batas dan dikocok sampai homogen.

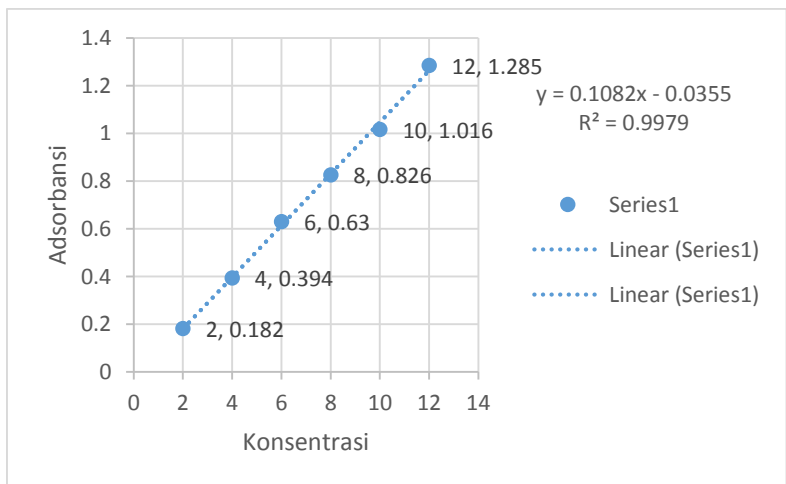
LAMPIRAN C

DATA HASIL PENELITIAN

1. Kurva Kalibrasi

Tabel 1. Tabel Kurva Kalibrasi *Methylene Blue*

Konsentrasi	Adsorbansi
2	0,182
4	0,394
6	0,63
8	0,826
10	1,016
12	1,285



Gambar 1. Kurva Kalibrasi *Methylene Blue*

2. Data Adsorpsi *Methylene Blue*

Tabel 2. Konsentrasi *Methylene Blue* Setelah Adsorpsi dengan Adsorben Sekam Padi Aktivasi Fisika; Konsentrasi Awal *Methylene Blue* 29,706 mg/L

Waktu (menit)	Dosis (g/L)				
	4	8	12	16	20
1	14,293	11,178	8,692	7,629	6,049
2	12,805	8,295	6,003	5,189	4,034
5	10,106	5,762	3,711	3,452	2,870
10	6,104	3,396	2,648	2,343	2,260
15	5,485	3,027	2,602	2,121	2,001
20	4,358	2,750	2,565	1,927	1,862
25	3,517	2,398	2,241	1,816	1,650
30	3,396	2,167	1,659	1,613	1,456
40	3,221	1,650	1,548	1,483	1,419
50	2,897	1,604	1,428	1,262	1,040
60	2,787	1,363	1,299	1,197	0,901

Tabel 3. Konsentrasi Removal *Methylene Blue* Setelah Adsorpsi dengan Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia; Konsentrasi Awal *Methylene Blue* 28,768 mg/L

Waktu (menit)	Dosis (g/L)				
	4	8	12	16	20
1	13,304	11,409	10,051	9,441	8,498
2	13,138	8,942	8,655	7,750	6,474
5	11,021	7,361	6,733	5,430	4,589
10	9,154	5,291	4,598	4,496	3,276
15	7,648	4,968	3,970	3,812	2,990
20	6,788	4,811	3,886	3,581	2,759
25	5,818	4,191	3,711	3,212	2,408
30	5,088	4,071	3,332	3,091	2,186

Waktu (menit)	Dosis (g/L)				
	4	8	12	16	20
40	4,515	3,886	3,073	2,565	2,112
50	4,127	3,831	2,999	2,232	1,899
60	3,517	2,860	2,278	1,881	1,576

Tabel 4. Konsentrasi Removal *Methylene Blue* Setelah Adsorpsi dengan Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia-Fisika; Konsentrasi Awal *Methylene Blue* 29,393 mg/L

Waktu (menit)	Dosis (g/L)				
	4	8	12	16	20
1	15,633	11,040	11,012	9,552	8,110
2	13,859	9,940	8,128	6,798	6,271
5	10,809	6,779	4,774	3,896	3,433
10	7,953	4,358	3,360	2,472	2,371
15	6,622	3,517	2,389	2,158	2,047
20	5,430	2,888	2,297	1,918	1,825
25	4,653	2,611	2,010	1,844	1,705
30	4,173	2,047	1,733	1,687	1,585
40	3,295	1,798	1,705	1,659	1,511
50	3,036	1,668	1,548	1,483	1,446
60	2,685	1,613	1,511	1,391	1,372

Tabel 5. Data Persen Removal *Methylene Blue* Setelah Adsorpsi dengan Adsorben Sekam Padi Aktivasi Fisika; Konsentrasi Awal *Methylene Blue* 29,706 mg/L

Waktu (menit)	Dosis (g/L)				
	4	8	12	16	20
1	51,9	62,4	70,7	74,3	79,6
2	56,9	72,1	79,8	82,5	86,4
5	66,0	80,6	87,5	88,4	90,3

Waktu (menit)	Dosis (g/L)				
	4	8	12	16	20
10	79,5	88,6	91,1	92,1	92,4
15	81,5	89,8	91,2	92,9	93,3
20	85,3	90,7	91,4	93,5	93,7
25	88,2	91,9	92,5	93,9	94,4
30	88,6	92,7	94,4	94,6	95,1
40	89,2	94,4	94,8	95,0	95,2
50	90,2	94,6	95,2	95,8	96,5
60	90,6	95,4	95,6	96,0	97,0

Tabel 6. Data Persen Removal Setelah Adsorpsi dengan Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia; Konsentrasi Awal *Methylene Blue* 28,768 mg/L

Waktu (menit)	Dosis (g/L)				
	4	8	12	16	20
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	53,8	60,3	65,1	67,2	70,5
2	54,3	68,9	69,9	73,1	77,5
5	61,7	74,4	76,6	81,1	84,0
10	68,2	81,6	84,0	84,4	88,6
15	73,4	82,7	86,2	86,7	89,6
20	76,4	83,3	86,5	87,6	90,4
25	79,8	85,4	87,1	88,8	91,6
30	82,3	85,8	88,4	89,3	92,4
40	84,3	86,5	89,3	91,1	92,7
50	85,7	86,7	89,6	92,2	93,4
60	87,8	90,1	92,1	93,5	94,5

Tabel 7. Data Persen Removal *Mehylene Blue* Setelah Adsorpsi dengan Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia-Fisika; Konsentrasi Awal *Methylene Blue* 29,393 mg/L

Waktu (menit)	Dosis (g/L)				
	4	8	12	16	20
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	46,8	62,4	62,5	67,5	72,4
2	52,9	66,2	72,3	76,9	78,7
5	63,2	76,9	83,8	86,7	88,3
10	72,9	85,2	88,6	91,6	91,9
15	77,5	88,0	91,9	92,7	93,0
20	81,5	90,2	92,2	93,5	93,8
25	84,2	91,1	93,2	93,7	94,2
30	85,8	93,0	94,1	94,3	94,6
40	88,8	93,9	94,2	94,4	94,9
50	89,7	94,3	94,7	95,0	95,1
60	90,9	94,5	94,9	95,3	95,3

3. Persamaan Isoterm Adsorpsi

Tabel 8. Persamaan Isoterm Freundlich Berbagai Waktu Kontak

KODE	Freundlich						Persamaan Isoterm
	Persamaan Linier	R ²	Slope	Intersep	K _f (mg/g)	n	
AK-1	y = 3,0302x - 2,8425	R ² = 0,9853	3,030	-2,843	0,001	0,330	qe = 0,001 C ^{1/0,33}
AF-1	y = 1,3756x - 1,0411	R ² = 0,9671	1,376	-1,041	0,091	0,727	qe = 0,091 C ^{1/0,727}
AKF-1	y = 1,4148x - 1,1196	R ² = 0,9769	1,415	-1,120	0,076	0,707	qe = 0,076 C ^{1/0,707}
AK-2	y = 1,8639x - 1,4797	R ² = 0,9181	1,864	-1,480	0,033	0,537	qe = 0,033 C ^{1/0,537}
AF-2	y = 1,0525x - 0,5398	R ² = 0,9933	1,053	-0,540	0,289	0,950	qe = 0,289 C ^{1/0,950}
AKF-2	y = 1,0646x - 0,591	R ² = 0,9964	1,065	-0,591	0,256	0,939	qe = 0,256 C ^{1/0,939}
AK-5	y = 1,5317x - 0,9494	R ² = 0,9707	1,532	-0,949	0,112	0,653	qe = 0,112 C ^{1/0,653}
AF-5	y = 0,9969x - 0,2951	R ² = 0,9685	0,997	-0,295	0,507	1,003	qe = 0,507 C ^{1/1,003}
AKF-5	y = 0,98x - 0,3036	R ² = 0,9733	0,980	-0,304	0,497	1,020	qe = 0,497 C ^{1/1,020}
AK-10	y = 1,3755x - 0,6175	R ² = 0,9161	1,376	-0,618	0,241	0,727	qe = 0,241 C ^{1/0,727}
AF-10	y = 1,3703x - 0,2728	R ² = 0,9492	1,370	-0,273	0,534	0,730	qe = 0,534 C ^{1/0,730}
AKF-10	y = 1,2906x - 0,2523	R ² = 0,945	1,291	-0,252	0,559	0,775	qe = 0,559 C ^{1/0,775}
AK-15	y = 1,5606x - 0,6469	R ² = 0,9716	1,561	-0,647	0,225	0,641	qe = 0,225 C ^{1/0,641}
AF-15	y = 1,4168x - 0,2339	R ² = 0,9634	1,417	-0,234	0,584	0,706	qe = 0,584 C ^{1/0,706}
AKF-15	y = 1,3645x - 0,2208	R ² = 0,9597	1,365	-0,221	0,601	0,733	qe = 0,601 C ^{1/0,733}

KODE	Freundlich						
	Persamaan Linier	R ²	Slope	Intersep	K _f (mg/g)	n	Persamaan Isoterm
AK-20	$y = 1,6703x - 0,6662$	R ² = 0,9752	1,670	-0,666	0,216	0,599	$q_e = 0,216 C^{1/0,599}$
AF-20	$y = 1,7142x - 0,2868$	R ² = 0,9633	1,741	-0,287	0,517	0,574	$q_e = 0,517 C^{1/0,574}$
AKF-20	$y = 1,285x - 0,1347$	R ² = 0,9628	1,285	-0,135	0,733	0,778	$q_e = 0,733 C^{1/0,778}$
AK-25	$y = 1,741x - 0,6128$	R ² = 0,9441	1,741	-0,613	0,244	0,574	$q_e = 0,244 C^{1/0,574}$
AF-25	$y = 2,237x - 0,3891$	R ² = 0,9488	2,237	-0,389	0,408	0,447	$q_e = 0,408 C^{1/0,447}$
AKF-25	$y = 1,4207x - 0,1253$	R ² = 0,9569	1,421	-0,125	0,749	0,704	$q_e = 0,749 C^{1/0,704}$
AK-30	$y = 1,7799x - 0,5666$	R ² = 0,9007	1,780	-0,567	0,271	0,562	$q_e = 0,271 C^{1/0,562}$
AF-30	$y = 1,7452x - 0,0851$	R ² = 0,9631	1,745	-0,085	0,822	0,573	$q_e = 0,822 C^{1/0,573}$
AKF-30	$y = 1,3987x - 0,0313$	R ² = 0,8695	1,399	-0,031	0,930	0,715	$q_e = 0,930 C^{1/0,715}$
AK-40	$y = 1,8787x - 0,5373$	R ² = 0,9279	1,879	-0,537	0,290	0,532	$q_e = 0,290 C^{1/0,532}$
AF-40	$y = 1,6375x + 0,0211$	R ² = 0,8296	1,638	0,021	1,050	0,611	$q_e = 1,050 C^{1/0,611}$
AKF-40	$y = 1,8047x - 0,0868$	R ² = 0,8477	1,805	-0,087	0,819	0,554	$q_e = 0,819 C^{1/0,554}$
AK-50	$y = 1,652x - 0,3683$	R ² = 0,855	1,652	-0,368	0,428	0,605	$q_e = 0,428 C^{1/0,605}$
AF-50	$y = 1,5438x + 0,14$	R ² = 0,9612	1,544	0,140	1,380	0,648	$q_e = 1,380 C^{1/0,648}$
AKF-50	$y = 1,8118x - 0,022$	R ² = 0,8391	1,812	-0,022	0,951	0,552	$q_e = 0,951 C^{1/0,552}$
AK-60	$y = 1,8513x - 0,2757$	R ² = 0,9588	1,851	-0,276	0,530	0,540	$q_e = 0,530 C^{1/0,540}$

KODE	Freundlich						
	Persamaan Linier	R ²	Slope	Intersep	K _f (mg/g)	n	Persamaan Isoterm
AF-60	y = 1,3929x + 0,23	R ² = 0,9082	1,393	0,230	1,698	0,718	qe = 1,698 C ^{1/0,718}
AKF-60	y = 2,0874x - 0,0336	R ² = 0,8821	2,087	-0,034	0,926	0,479	qe = 0,926 C ^{1/0,479}

Keterangan :

AK : Aktivasi Kimia

AF : Aktivasi Fisika

AKF : Aktivasi Kimia-Fisika

AKF-60 : angka menunjukkan waktu kontak

Tabel 9. Persamaan Isoterm Langmuir Berbagai Waktu Kontak

KODE	Langmuir							
	Persamaan Linier	R ²	Slope	Intersep	a (mg/g)	b	R _L	Persamaan Isoterm
AK-1	y = -1,0563x + 17,402	R ² = 0,9821	1,056	17,402	0,947	0,061	0,364	qe = (0,947 x 0,061C)/(1+0,061C)
AF-1	y = -0,1858x + 6,6066	R ² = 0,7834	0,186	6,607	5,382	0,028	0,545	qe = (5,382 x 0,028C)/(1+0,028C)
AKF-1	y = -0,4407x + 11,252	R ² = 0,634	0,441	11,252	2,269	0,039	0,465	qe = (2,269 x 0,039C)/(1+0,039C)
AK-2	y = -0,3942x + 8,3125	R ² = 0,67	0,394	8,313	2,537	0,047	0,423	qe = (2,537 x 0,047C)/(1+0,047C)
AF-2	y = -0,0217x + 3,2971	R ² = 0,2665	0,022	3,297	46,083	0,007	0,836	qe = (46,803 x 0,007C)/(1+0,007C)
AKF-2	y = -0,2184x + 6,4617	R ² = 0,8969	0,218	6,462	4,579	0,034	0,502	qe = (4,579 x 0,034C)/(1+0,034C)

KODE	Langmuir							
	Persamaan Linier	R ²	Slope	Intersep	a (mg/g)	b	R _L	Persamaan Isoterm
AK-5	$y = -0,2204x + 4,8329$	$R^2 = 0,7858$	0,220	4,833	4,537	0,046	0,433	$q_e = (4,537 \times 0,046C)/(1+0,046C)$
AF-5	$y = 0,0053x + 1,9611$	$R^2 = 0,0082$	0,005	1,961	188,679	0,003	0,926	$q_e = (188,679 \times 0,003C)/(1+0,003C)$
AKF-5	$y = -0,027x + 2,5888$	$R^2 = 0,3844$	0,027	2,589	37,037	0,010	0,765	$q_e = (37,037 \times 0,010C)/(1+0,010C)$
AK-10	$y = -0,1362x + 3,0278$	$R^2 = 0,3922$	0,136	3,028	7,342	0,045	0,436	$q_e = (7,342 \times 0,045C)/(1+0,045C)$
AF-10	$y = -0,1073x + 1,6111$	$R^2 = 0,4369$	0,107	1,611	9,320	0,067	0,336	$q_e = (9,320 \times 0,067C)/(1+0,067C)$
AKF-10	$y = -0,0245x + 1,6303$	$R^2 = 0,1679$	0,025	1,630	40,816	0,015	0,694	$q_e = (40,816 \times 0,015C)/(1+0,015C)$
AK-15	$y = -0,2001x + 2,8964$	$R^2 = 0,7318$	0,200	2,896	4,998	0,069	0,335	$q_e = (4,998 \times 0,069C)/(1+0,069C)$
AF-15	$y = -0,1203x + 1,4944$	$R^2 = 0,5599$	0,120	1,494	8,313	0,081	0,295	$q_e = (8,313 \times 0,081C)/(1+0,081C)$
AKF-15	$y = -0,0321x + 1,3228$	$R^2 = 0,1217$	0,032	1,323	31,153	0,024	0,584	$q_e = (31,153 \times 0,024C)/(1+0,024C)$
AK-20	$y = -0,2505x + 2,9161$	$R^2 = 0,8658$	0,251	2,916	3,992	0,086	0,288	$q_e = (3,992 \times 0,086C)/(1+0,086C)$
AF-20	$y = -0,2243x + 1,6208$	$R^2 = 0,7465$	0,224	1,621	4,458	0,138	0,196	$q_e = (4,458 \times 0,138C)/(1+0,138C)$
AKF-20	$y = -0,0791x + 1,2743$	$R^2 = 0,4171$	0,079	1,274	12,642	0,062	0,354	$q_e = (12,642 \times 0,062C)/(1+0,062C)$
AK-25	$y = -0,2844x + 2,6986$	$R^2 = 0,8079$	0,284	2,699	3,516	0,105	0,248	$q_e = (3,516 \times 0,105C)/(1+0,105C)$
AF-25	$y = -0,3861x + 1,8336$	$R^2 = 0,7314$	0,386	1,834	2,590	0,211	0,138	$q_e = (2,590 \times 0,211C)/(1+0,211C)$
AKF-25	$y = -0,12x + 1,2508$	$R^2 = 0,5128$	0,120	1,251	8,333	0,096	0,262	$q_e = (8,333 \times 0,096C)/(1+0,096C)$
AK-30	$y = -0,3128x + 2,5756$	$R^2 = 0,7215$	0,313	2,576	3,197	0,121	0,223	$q_e = (3,197 \times 0,121C)/(1+0,121C)$

KODE	Langmuir							
	Persamaan Linier	R ²	Slope	Intersep	a (mg/g)	b	R _L	Persamaan Isoterm
AF-30	$y = -0,2194x + 1,2126$	$R^2 = 0,6859$	0,219	1,213	4,558	0,181	0,157	$q_e = (4,558 \times 0,181C)/(1+0,181C)$
AKF-30	$y = -0,1098x + 1,0719$	$R^2 = 0,2811$	0,110	1,072	9,107	0,102	0,249	$q_e = (9,107 \times 0,102C)/(1+0,102C)$
AK-40	$y = -0,3325x + 2,3898$	$R^2 = 0,8753$	0,333	2,390	3,008	0,139	0,200	$q_e = (3,008 \times 0,139C)/(1+0,139C)$
AF-40	$y = -0,1787x + 1,0253$	$R^2 = 0,3522$	0,179	1,025	5,596	0,174	0,162	$q_e = (5,596 \times 0,174C)/(1+0,174C)$
AKF-40	$y = -0,2321x + 1,2239$	$R^2 = 0,4368$	0,232	1,224	4,308	0,190	0,152	$q_e = (4,308 \times 0,190C)/(1+0,190C)$
AK-50	$y = -0,2451x + 1,9507$	$R^2 = 0,5839$	0,245	1,951	4,080	0,126	0,217	$q_e = (4,080 \times 0,126C)/(1+0,126C)$
AF-50	$y = -0,1517x + 0,8356$	$R^2 = 0,6493$	0,152	0,836	6,592	0,182	0,156	$q_e = (6,592 \times 0,182C)/(1+0,182C)$
AKF-50	$y = -0,2323x + 1,1256$	$R^2 = 0,4092$	0,232	1,126	4,305	0,206	0,142	$q_e = (4,305 \times 0,206C)/(1+0,206C)$
AK-60	$y = -0,3056x + 1,6904$	$R^2 = 0,9501$	0,306	1,690	3,272	0,181	0,161	$q_e = (3,272 \times 0,181C)/(1+0,181C)$
AF-60	$y = -0,1078x + 0,6916$	$R^2 = 0,3921$	0,108	0,692	9,276	0,156	0,178	$q_e = (9,276 \times 0,156C)/(1+0,156C)$
AKF-60	$y = -0,3138x + 1,1963$	$R^2 = 0,5315$	0,314	1,196	3,187	0,262	0,115	$q_e = (3,187 \times 0,262C)/(1+0,262C)$

4. Nilai Qe Berdasarkan Persamaan Isoterm

Tabel 10. Nilai qe Berdasarkan Rumus Freundlich pada Berbagai Waktu kontak

KODE	Ce					qe				
	4 g/L	8 g/L	12 g/L	16 g/L	20 g/L	4 g/L	8 g/L	12 g/L	16 g/L	20 g/L
AK-1	13,304	11,409	10,051	9,441	8,498	3,659	2,297	1,564	1,294	0,941
AF-1	14,293	11,178	8,692	7,629	6,049	3,531	2,518	1,781	1,489	1,082
AKF-1	15,633	11,040	11,012	9,552	8,110	3,713	2,270	2,262	1,849	1,467
AK-2	13,138	8,942	8,655	7,750	6,474	4,028	1,966	1,851	1,506	1,077
AF-2	12,805	8,295	6,003	5,189	4,034	4,224	2,675	1,903	1,633	1,252
AKF-2	13,859	9,940	8,128	6,798	6,271	4,212	2,957	2,387	1,973	1,811
AK-5	11,021	7,361	6,733	5,430	4,589	4,436	2,391	2,085	1,500	1,159
AF-5	10,106	5,762	3,711	3,452	2,870	5,086	2,905	1,873	1,743	1,450
AKF-5	10,809	6,779	4,774	3,896	3,433	5,123	3,243	2,300	1,884	1,665
AK-10	9,154	5,291	4,598	4,496	3,276	5,072	2,386	1,967	1,908	1,234
AF-10	6,104	3,396	2,648	2,343	2,260	6,365	2,850	2,026	1,713	1,631
AKF-10	7,953	4,358	3,360	2,472	2,371	8,127	3,739	2,672	1,799	1,704
AK-15	7,648	4,968	3,970	3,812	2,990	5,395	2,751	1,939	1,820	1,246
AF-15	5,485	3,027	2,602	2,121	2,001	6,507	2,803	2,262	1,693	1,559

KODE	Ce					qe				
	4 g/L	8 g/L	12 g/L	16 g/L	20 g/L	4 g/L	8 g/L	12 g/L	16 g/L	20 g/L
AKF-15	6,622	3,517	2,389	2,158	2,047	7,933	3,345	1,974	1,718	1,599
AK-20	6,788	4,811	3,886	3,581	2,759	5,286	2,973	2,082	1,816	1,175
AF-20	4,358	2,750	2,565	1,927	1,862	6,703	3,006	2,663	1,619	1,525
AKF-20	5,430	2,888	2,297	1,918	1,825	6,449	2,865	2,135	1,693	1,589
AK-25	5,818	4,191	3,711	3,212	2,408	5,232	2,956	2,391	1,860	1,126
AF-25	3,517	2,398	2,241	1,816	1,650	6,801	2,889	2,483	1,551	1,251
AKF-25	4,653	2,611	2,010	1,844	1,705	6,659	2,930	2,021	1,787	1,599
AK-30	5,088	4,071	3,332	3,091	2,186	4,909	3,301	2,311	2,022	1,091
AF-30	3,396	2,167	1,659	1,613	1,456	6,945	3,171	1,989	1,893	1,583
AKF-30	4,173	2,047	1,733	1,687	1,585	6,863	2,535	2,008	1,933	1,772
AK-40	4,515	3,886	3,073	2,565	2,112	4,927	3,718	2,392	1,703	1,182
AF-40	3,221	1,65	1,548	1,483	1,419	7,127	2,383	2,147	2,002	1,861
AKF-40	3,295	1,798	1,705	1,659	1,511	7,043	2,360	2,145	2,041	1,725
AK-50	4,127	3,831	2,999	2,232	1,899	4,453	3,938	2,628	1,613	1,236
AF-50	2,897	1,604	1,428	1,262	1,04	7,133	2,861	2,392	1,976	1,466
AKF-50	3,036	1,668	1,548	1,483	1,446	7,110	2,403	2,098	1,942	1,855

KODE	Ce					qe				
	4 g/L	8 g/L	12 g/L	16 g/L	20 g/L	4 g/L	8 g/L	12 g/L	16 g/L	20 g/L
AK-60	3,517	2,86	2,278	1,881	1,576	5,437	3,709	2,434	1,707	1,230
AF-60	2,787	1,363	1,299	1,197	0,901	7,078	2,615	2,444	2,181	1,469
AKF-60	2,685	1,613	1,511	1,391	1,372	7,273	2,510	2,191	1,843	1,792

Tabel 11. Nilai qe Berdasarkan Rumus Langmuir pada Berbagai Waktu kontak

KODE	Ce					qe				
	4 g/L	8 g/L	12 g/L	16 g/L	20 g/L	4 g/L	8 g/L	12 g/L	16 g/L	20 g/L
AK-1	13,304	11,409	10,051	9,441	8,498	0,423	0,387	0,359	0,345	0,322
AF-1	14,293	11,178	8,692	7,629	6,049	1,543	1,287	1,057	0,951	0,782
AKF-1	15,633	11,040	11,012	9,552	8,110	0,862	0,685	0,684	0,618	0,547
AK-2	13,138	8,942	8,655	7,750	6,474	0,974	0,755	0,738	0,682	0,596
AF-2	12,805	8,295	6,003	5,189	4,034	3,582	2,386	1,751	1,522	1,192
AKF-2	13,859	9,940	8,128	6,798	6,271	1,461	1,151	0,987	0,855	0,801
AK-5	11,021	7,361	6,733	5,430	4,589	1,518	1,140	1,066	0,901	0,785
AF-5	10,106	5,762	3,711	3,452	2,870	5,016	2,893	1,873	1,744	1,452
AKF-5	10,809	6,779	4,774	3,896	3,433	3,752	2,446	1,756	1,446	1,280

KODE	Ce					qe				
	4 g/L	8 g/L	12 g/L	16 g/L	20 g/L	4 g/L	8 g/L	12 g/L	16 g/L	20 g/L
AK-10	9,154	5,291	4,598	4,496	3,276	2,142	1,412	1,258	1,235	0,943
AF-10	6,104	3,396	2,648	2,343	2,260	2,694	1,719	1,397	1,258	1,219
AKF-10	7,953	4,358	3,360	2,472	2,371	4,357	2,509	1,962	1,462	1,404
AK-15	7,648	4,968	3,970	3,812	2,990	1,728	1,277	1,076	1,042	0,856
AF-15	5,485	3,027	2,602	2,121	2,001	2,546	1,629	1,439	1,212	1,153
AKF-15	6,622	3,517	2,389	2,158	2,047	4,313	2,449	1,707	1,550	1,474
AK-20	6,788	4,811	3,886	3,581	2,759	1,470	1,167	0,999	0,939	0,765
AF-20	4,358	2,750	2,565	1,927	1,862	1,677	1,229	1,168	0,939	0,914
AKF-20	5,430	2,888	2,297	1,918	1,825	3,187	1,922	1,577	1,345	1,287
AK-25	5,818	4,191	3,711	3,212	2,408	1,336	1,077	0,988	0,889	0,712
AF-25	3,517	2,398	2,241	1,816	1,650	1,102	0,869	0,830	0,716	0,668
AKF-25	4,653	2,611	2,010	1,844	1,705	2,572	1,669	1,347	1,253	1,172
AK-30	5,088	4,071	3,332	3,091	2,186	1,221	1,058	0,921	0,873	0,671
AF-30	3,396	2,167	1,659	1,613	1,456	1,735	1,284	1,052	1,030	0,950
AKF-30	4,173	2,047	1,733	1,687	1,585	2,727	1,579	1,373	1,342	1,272
AK-40	4,515	3,886	3,073	2,565	2,112	1,160	1,055	0,901	0,791	0,683

KODE	Ce					qe				
	4 g/L	8 g/L	12 g/L	16 g/L	20 g/L	4 g/L	8 g/L	12 g/L	16 g/L	20 g/L
AF-40	3,221	1,650	1,548	1,483	1,419	2,012	1,250	1,189	1,150	1,109
AKF-40	3,295	1,798	1,705	1,659	1,511	1,657	1,095	1,053	1,031	0,960
AK-50	4,127	3,831	2,999	2,232	1,899	1,393	1,326	1,117	0,894	0,786
AF-50	2,897	1,604	1,428	1,262	1,040	2,272	1,486	1,357	1,228	1,047
AKF-50	3,036	1,668	1,548	1,483	1,446	1,658	1,102	1,042	1,009	0,990
AK-60	3,517	2,860	2,278	1,881	1,576	1,272	1,115	0,955	0,830	0,726
AF-60	2,787	1,363	1,299	1,197	0,901	2,809	1,626	1,562	1,458	1,142
AKF-60	2,685	1,613	1,511	1,391	1,372	1,317	0,947	0,905	0,852	0,844

5. Nilai qmax Berdasarkan Rumus Isoterm Freundlich

Tabel 12. Nilai qmax Berdasarkan Rumus Isoterm Freundlich

KODE	Persamaan Isoterm	Kf	n	qmax
AK-1	$q_e = 0,001 C^{1/0,33}$	0,001	0,330	37,869
AF-1	$q_e = 0,091 C^{1/0,727}$	0,091	0,727	9,6593
AKF-1	$q_e = 0,076 C^{1/0,707}$	0,076	0,707	9,0713

KODE	Persamaan Isoterm	Kf	n	qmax
AK-2	$q_e = 0,033 C^{1/0,537}$	0,033	0,537	17,36
AF-2	$q_e = 0,289 C^{1/0,950}$	0,289	0,950	10,242
AKF-2	$q_e = 0,256 C^{1/0,939}$	0,256	0,939	9,3776
AK-5	$q_e = 0,112 C^{1/0,653}$	0,112	0,653	19,285
AF-5	$q_e = 0,507 C^{1/1,003}$	0,507	1,003	14,9
AKF-5	$q_e = 0,497 C^{1/1,020}$	0,497	1,020	13,655
AK-10	$q_e = 0,241 C^{1/0,727}$	0,241	0,727	24,504
AF-10	$q_e = 0,534 C^{1/0,730}$	0,534	0,730	55,647
AKF-10	$q_e = 0,559 C^{1/0,775}$	0,559	0,775	43,915
AK-15	$q_e = 0,225 C^{1/0,641}$	0,225	0,641	42,646
AF-15	$q_e = 0,584 C^{1/0,706}$	0,584	0,706	71,257
AKF-15	$q_e = 0,601 C^{1/0,733}$	0,601	0,733	60,62
AK-20	$q_e = 0,216 C^{1/0,599}$	0,216	0,599	58,968
AF-20	$q_e = 0,517 C^{1/0,574}$	0,517	0,574	189,55
AKF-20	$q_e = 0,733 C^{1/0,778}$	0,733	0,778	56,493
AK-25	$q_e = 0,244 C^{1/0,574}$	0,244	0,574	84,559

KODE	Persamaan Isoterm	Kf	n	qmax
AF-25	$q_e = 0,408 C^{1/0,447}$	0,408	0,447	804,73
AKF-25	$q_e = 0,749 C^{1/0,704}$	0,749	0,704	91,334
AK-30	$q_e = 0,271 C^{1/0,562}$	0,271	0,562	107,18
AF-30	$q_e = 0,822 C^{1/0,573}$	0,822	0,573	305,71
AKF-30	$q_e = 0,930 C^{1/0,715}$	0,930	0,715	105,28
AK-40	$q_e = 0,290 C^{1/0,532}$	0,290	0,532	159,79
AF-40	$q_e = 1,050 C^{1/0,611}$	1,050	0,611	270,95
AKF-40	$q_e = 0,819 C^{1/0,554}$	0,819	0,554	365,54
AK-50	$q_e = 0,428 C^{1/0,605}$	0,428	0,605	110,11
AF-50	$q_e = 1,380 C^{1/0,648}$	1,380	0,648	259,28
AKF-50	$q_e = 0,951 C^{1/0,552}$	0,951	0,552	434,67
AK-60	$q_e = 0,530 C^{1/0,540}$	0,530	0,540	266,18
AF-60	$q_e = 1,698 C^{1/0,718}$	1,698	0,718	191,22
AKF-60	$q_e = 0,926 C^{1/0,479}$	0,926	0,479	1074,5

6. Persamaan Kinetika

Tabel 13. Persamaan Kinetika Orde Satu Semu untuk Semua Dosis

KODE	Orde Satu Semu					
	Persamaan	R ²	Slope	Intersep	qe Cal	k1
AF4	$y = -0,003x + 0,1191$	$R^2 = 0,2929$	0,003	0,119	1,316	0,007
AK4	$y = 0,0015x - 0,0657$	$R^2 = 0,0841$	0,002	-0,066	0,860	0,003
AKF4	$y = -0,0018x + 0,0736$	$R^2 = 0,1105$	0,002	0,074	1,185	0,004
AF8	$y = 0,0037x - 0,1557$	$R^2 = 0,1983$	0,004	-0,156	0,699	0,009
AK8	$y = 0,0053x - 0,2189$	$R^2 = 0,2924$	0,005	-0,219	0,604	0,012
AKF8	$y = 0,0037x - 0,1562$	$R^2 = 0,2211$	0,004	-0,156	0,698	0,009
AF12	$y = 0,0097x - 0,3999$	$R^2 = 0,313$	0,010	-0,400	0,398	0,022
AK12	$y = 0,0081x - 0,331$	$R^2 = 0,375$	0,008	-0,331	0,467	0,019
AKF12	$y = 0,0077x - 0,3185$	$R^2 = 0,2718$	0,0077	-0,3185	0,480	0,018
AF16	$y = 0,0123x - 0,5055$	$R^2 = 0,3667$	0,0123	0,5055	3,203	0,028
AK16	$y = 0,0125x - 0,5144$	$R^2 = 0,3559$	0,0125	0,5144	3,269	0,029
AKF16	$y = 0,0101x - 0,4154$	$R^2 = 0,3319$	0,0101	0,4154	2,603	0,023
AF20	$y = 0,017x - 0,6977$	$R^2 = 0,3857$	0,017	0,6977	4,985	0,039
AK20	$y = 0,0132x - 0,5434$	$R^2 = 0,3875$	0,0132	0,5434	3,495	0,030

KODE	Orde Satu Semu					
	Persamaan	R ²	Slope	Intersep	qe Cal	k1
AKF20	$y = 0,0132x - 0,5675$	R ² = 0,3841	0,0132	0,5675	3,694	0,030

Tabel 14. Persamaan Kinetika Orde Dua Semu untuk Semua Dosis

Orde Dua Semu							
Persamaan	R ²	Slope	Intersep	qe cal	k2	h	qe exp
$y = 0,1451x + 0,2217$	R ² = 0,9997	0,145	0,222	6,892	0,095	4,511	6,577
$y = 0,1553x + 0,3624$	R ² = 0,9978	0,155	0,362	6,439	0,067	2,759	5,920
$y = 0,1457x + 0,3311$	R ² = 0,9989	0,146	0,331	6,863	0,064	3,020	6,305
$y = 0,2794x + 0,2585$	R ² = 0,9998	0,279	0,259	3,579	0,302	3,868	3,442
$y = 0,3101x + 0,3228$	R ² = 0,9992	0,310	0,323	3,225	0,298	3,098	3,087
$y = 0,2831x + 0,3098$	R ² = 0,9998	0,283	0,310	3,532	0,259	3,228	3,418
$y = 0,4197x + 0,263$	R ² = 0,9998	0,420	0,263	2,383	0,670	3,802	2,337
$y = 0,453x + 0,4374$	R ² = 0,9995	0,453	0,437	2,208	0,469	2,286	2,120
$y = 0,4255x + 0,2944$	R ² = 1	0,4255	0,2944	2,350	0,615	3,397	2,305
$y = 0,5584x + 0,2706$	R ² = 0,9999	0,5584	0,2706	1,791	1,152	3,695	1,756
$y = 0,5924x + 0,5887$	R ² = 0,9995	0,5924	0,5887	1,688	0,596	1,699	1,605
$y = 0,5677x + 0,2876$	R ² = 1	0,5677	0,2876	1,761	1,121	3,477	1,732

Persamaan	Orde Dua Semu						
	R^2	Slope	Intersep	qe cal	k2	h	qe exp
$y = 0,693x + 0,3368$	$R^2 = 0,9999$	0,693	0,3368	1,443	1,426	2,969	1,413
$y = 0,7331x + 0,5027$	$R^2 = 0,9998$	0,7331	0,5027	1,364	1,069	1,989	1,329
$y = 0,7094x + 0,2987$	$R^2 = 1$	0,7094	0,2987	1,410	1,685	3,348	1,390

LAMPIRAN D

DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar 1. Neraca Analitik



Gambar 2. Desikator



Gambar 3. Oven 105⁰C



Gambar 4. Furnace 550⁰C



Gambar 5. Spektrofotometer UV-Vis



Gambar 6. Oven 80°C



Gambar 7. Larutan *Methylene Blue* 30 mg/L Sebelum Adsorpsi



Gambar 8. Larutan *Methylene Blue* 30 mg/L Setelah Adsorpsi dengan Adsorben Teraktivasi Secara Kimia



Gambar 9. Larutan *Methylene Blue* 30 mg/L Setelah Adsorpsi dengan Adsorben Teraktivasi Secara Fisika



Gambar 13. Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia-Fisika (Sebelum Digunakan)



Gambar 14. Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia (Sebelum Digunakan)



Gambar 15. Adsorben Sekam Padi Aktivasi Fisika (Setelah Digunakan)



Gambar 16. Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia-Fisika (Setelah Digunakan)



Gambar 17. Adsorben Sekam Padi Aktivasi Kimia (Setelah Digunakan)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Serang, 14 Juli 1993, merupakan anak ke 3 dari empat bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal di SDN 2 Cilegon, SMPN 1 Cilegon, dan SMAN Cahaya Madani Banten *Boarding School* (CMBBS). Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS Surabaya pada tahun 2011-2015 dan terdaftar dengan NRP 3311 100 055.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif di dalam organisasi kemahasiswaan sebagai staf Departemen Dalam Negeri HMTL periode 2013/2014. Selain itu, penulis juga aktif menjadi panitia di berbagai kegiatan HMTL maupun ITS dan aktif sebagai asisten praktikum pada mata kuliah TAPL. Prestasi yang pernah diraih adalah menjadi Juara 1 Lomba Karya Tulis Ilmiah Nasional *Civil Week* 2013. Penulis berkesempatan menjalankan Kerja Praktik di PT. Pertamina RU V, Balikpapan untuk melakukan evaluasi pengolahan limbah cair proses. Penulis dapat dihubungi via email gia.triana14@gmail.com.